



Università degli Studi di Ferrara

DOTTORATO DI RICERCA IN
"TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA"
CICLO XXII

COORDINATORE Prof. Arch. Graziano Trippa

Involucri evoluti a comportamento dinamico: tecnologie e modelli applicativi nel contesto geografico, normativo e imprenditoriale della Regione Emilia Romagna

Settore Scientifico Disciplinare ICAR/12

Dottorando
Giulia Archetti

Tutor
Prof. Arch. Fabio Conato

Anni 2007/2009

Ringrazio il prof. Fabio Conato che ha dedicato tempo ed energie alla presente ricerca, i dott. arch. Simona Cinti e Giuseppe Camillo Santangelo per la preziosa collaborazione.

Indice

<u>Introduzione</u>	7
<u>Parte prima – Analisi dello stato dell'arte e individuazione delle criticità</u>	15
<i>1 – Analisi dello stato dell'arte: il concetto di involucro evoluto dalla sua prima definizione ad oggi</i>	17
1.1 Evoluzione del concetto di involucro evoluto a comportamento dinamico: dai sistemi a doppia pelle vetro-vetro alla definizione delle famiglie di involucro	11
1.1.1 Dinamiche e percorsi di innovazione per l'involucro evoluto	19
1.1.2 Involucro evoluto a comportamento dinamico: definizione e step di avanzamento	20
1.1.3 Applicabilità degli involucri evoluti a comportamento dinamico nel contesto italiano	22
1.2 Recepimento delle direttive europee in ambito di risparmio energetico: quadro normativo europeo, italiano e regionale	29
1.2.1 Un quadro normativo complesso	29
1.2.2 La Direttiva Europea 2002/91/CE sul rendimento energetico degli edifici	31
1.2.3 La recente evoluzione della L.10/91	33
1.2.4 Il D. P.R. 6 marzo 2009 sul D. Lgs 192 del 2005 per il rendimento energetico degli edifici	34
1.2.5 La delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 156/2008	35
1.3 Analisi dello stato dell'arte relativo alla problematica ambientale: la situazione internazionale e nazionale	36
1.3.1 Problematiche ambientali	37
1.3.2 Prospettive in Europa	42
1.3.3 Situazione italiana	43
1.4 Problemi e criticità individuati nell'analisi dello stato dell'arte	45
1.4.1 Individuazione delle criticità delle soluzioni presenti	45
1.4.2 Individuazione delle criticità costruttive, economiche e normative	46
<i>2 – Metodologia di indagine: definizione di un approccio per l'analisi delle criticità individuate e delle soluzioni proposte</i>	49
2.1 Verso un approccio non lineare	51
2.1.1 Analisi energetica - ambientale	51
2.1.2 Analisi tipologica e della prassi progettuale	56
2.1.3 Analisi economica	64
2.2 Indicazione sul livello di applicabilità della ricerca: dato qualitativo e quantitativo	68

<u>Parte seconda – Involucro evoluto a comportamento dinamico</u>	71
<i>3 – Individuazione dei fattori interni ed esterni per la definizione di uno schema di analisi e valutazione esigenziale – prestazionale</i>	73
3.1 Fattori esterni esistenti come parametri per la progettazione dell'involucro edilizio	78
3.1.1 Contesto macroclimatico	79
3.1.2 Morfologia dell'intorno	85
3.1.3 Contesto microclimatico	88
3.2 Fattori interni richiesti come parametri per la progettazione dell'involucro edilizio	91
3.2.1 Fattori di comfort ambientale	92
3.2.2 Fattori tipologici	94
3.3 Condizioni di confort e fabbisogno energetico: parametri e coefficienti	97
3.3.1 Resistenza termica R	97
3.3.2 Trasmittanza termica U	99
3.3.3 Valore G	100
3.3.4 Fattore di diminuzione z	100
3.3.5 Coefficiente t_{vis}	101
3.3.6 Emissività	101
3.3.7 Sfasamento e attenuazione	101
3.4 Elaborazione di uno schema per l'analisi esigenziale – prestazionale delle soluzioni di involucro	102
3.4.1 Livelli prestazionali di igiene, salute e benessere ambientale	110
3.4.2 Livelli prestazionali di rumore	115
3.4.3 Livelli prestazionali di risparmio energetico	115
<i>4 – Definizione dei fenomeni fisici correlati e degli elementi costitutivi di involucri evoluti a comportamento dinamico</i>	127
4.1 Involucro evoluto a comportamento dinamico: definizioni e criteri Generali di funzionamento	129
4.1.1 Principi di base	131
4.1.2 Materiali e componenti	133
4.1.3 Tipologie di facciata	138
4.1.4 Famiglie di involucro	150
4.2 Fenomeni fisici correlati	160
4.2.1 Trasmissione del calore per irraggiamento all'interno di uno spazio confinato	162
4.2.2 Convezione naturale in uno spazio confinato	162
4.2.3 Effetto serra	165
4.2.4 Effetto camino	167
4.2.5 Ventilazione naturale	168
4.2.6 Isolamento termico	172
4.2.7 Ombreggiamento e protezione solare	173
4.2.8 Inerzia termica	176
4.2.9 Controllo della condensa interstiziale	178
4.2.10 Controllo del rumore	178
4.3 Termofisica dell'involucro: calcolo stazionario e calcolo dinamico	181

<i>5 – Tendenze in atto</i>	187
5.1 Repertorio di casi studio	189
5.1.1 Formulazione di una struttura per la schedatura dei casi studio	189
5.1.2 Motivazioni relative alla scelta dei casi studio selezionati	191
5.2 Casi studio schedati	195
5.2.1 Casi studio internazionali	195
5.2.2 Casi studio europei	211
5.2.3 Casi studio nazionali	261
5.3 Individuazione delle tendenze in atto nella realizzazione di involucri evoluti a comportamento dinamico: materiali, elementi costruttivi e tecniche impiegate	277
5.3.1 Evoluzione dei componenti per sistemi trasparenti	282
5.3.2 Evoluzione dei componenti per sistemi traslucidi	283
5.3.3 Evoluzione dei componenti per sistemi opachi	287
 <i>6 – Controllo e verifica del comportamento dinamico di involucri evoluti: esperienze a confronto</i>	291
6.1 Metodi e procedure di calcolo e controllo del comportamento dinamico degli involucri evoluti	293
6.1.1 Esperienza internazionali	293
6.1.2 Esperienze europee	294
6.1.3 Esperienze italiane	296
6.2 Considerazioni e valutazioni a partire da un caso studio rilevato di edificio residenziale in Emilia-Romagna	302
6.2.1 Descrizione e comportamento della soluzione testata	303
6.2.2 Individuazione delle criticità e ipotesi di intervento	309
6.3 Prime valutazioni relative al comportamento dinamico di involucri evoluti	311
 <u>Parte terza – Tecnologie e modelli applicativi per involucri evoluti a comportamento dinamico</u>	313
 <i>7 – Elaborazione di linee guida per la progettazione e la valutazione</i>	315
7.1 Modelli applicativi per il contesto geografico, normativo e imprenditoriale della Regione Emilia-Romagna	317
7.1.1 Modelli applicativi per famiglia di involucro	317
7.1.2 Modelli applicativi per tipologia di involucro	321
7.1.3 Modelli applicativi per tipologia di pelle	325
7.1.4 Modelli applicativi per destinazione d'uso	326
7.1.5 Modelli applicativi per tipologia edilizia	330
7.1.6 Modelli applicativi per orientamento	331
7.2 Livello di applicabilità delle singole famiglie di involucro	332
7.2.1 Trasparente su trasparente	335
7.2.2 Trasparente su opaco	342
7.2.3 Opaco su opaco	351
7.2.4 Traslucido su trasparente	356
7.2.5 Traslucido su opaco	361
7.3 Definizione di soluzioni conformi	365

7.3.1 Trasparente su trasparente	366
7.3.2 Trasparente su opaco	369
7.3.3 Opaco su opaco	373
7.3.4 Traslucido su trasparente	375
7.3.5 Traslucido su opaco	377
7.4 Cenni sull'integrazione impiantistica	380
7.5 Predisposizione di un data base consultabile on-line	381
 <i>8 - Conclusioni</i>	 391
8.1 Verifica tra obiettivi e risultati raggiunti	393
8.2 Possibili scenari di sviluppo	393
 <u>Bibliografia</u>	 397
 <u>Fonte delle immagini</u>	 405

Introduzione

- I. Inquadramento del problema scientifico
- II. Delimitazione del campo di indagine
- III. Obiettivi della ricerca
- IV. Individuazione delle metodologie e delle fasi di lavoro
- V. Destinatari, ricadute ed evoluzione futura

I. Inquadramento del problema scientifico

L'importanza crescente del ruolo svolto dall'involucro edilizio, che sempre più deve rispondere a requisiti in materia di confort ambientale e risparmio delle risorse energetiche, determina la consapevolezza che l'involucro stesso costituisce la prima e necessaria cerniera di collegamento tra sistema ambientale e sistema tecnologico. Diventa così una complessa macchina, il cui funzionamento è regolato da sistemi tecnologici particolarmente avanzati, tali da regolare e controllare una serie di apparati meccanici capaci di adattare il rapporto complesso tra il clima esterno e quello interno: involucri automaticamente reattivi alle condizioni e alle sollecitazioni climatiche esterne.

Considerata la complessità di progettazione di questi sistemi, risulta chiaro come l'ambito più adatto allo sviluppo degli stessi sia quello legato alla dinamicità del loro funzionamento e all'adattabilità alle variazioni delle condizioni al contorno: *involucri evoluti a comportamento dinamico*, cioè sistemi innovativi in grado di raggiungere prestazioni elevate e adattabili alle variazioni.

A questo punto è importante sottolineare due aspetti: il primo legato all'idea di una soluzione che derivi dall'elaborazione e trasformazione di un sistema tecnologico o di un materiale; il secondo richiama invece i principi di funzionamento alla base di queste innovative chiusure esterne. Pertanto il punto di forza di tali involucri evoluti risulta duplice: da un lato la natura dei materiali impiegati e dall'altro i principi fisici e termo-fisici che ne regolano il funzionamento dinamico.

Per definizione, questi sistemi evoluti sono costituiti da una pelle interna, una esterna e un'intercapedine d'aria e possono essere classificati in differenti famiglie, in funzione della natura dei materiali adottati (trasparenti, traslucidi e opachi), a cui corrispondono specifiche tecnologie costruttive.

Lo stato dell'arte considerato parte dalle conoscenze acquisite durante precedenti attività di ricerca del gruppo di appartenenza, verificate e confermate in diverse occasioni, che verranno meglio dettagliate nella Parte Prima della presente trattazione. La definizione del tema prevede perciò un necessario rimando a tali studi e ricerche a cui si accennerà successivamente. Nello specifico, le considerazioni appena ricordate fanno riferimento principalmente alla famiglia di involucro costituita da doppie pelli vetro-vetro, per le quali si prevede una trattazione generica veloce e una più specifica e approfondita, volta alla individuazione dell'evoluzione delle ricerche in atto per la determinazione di modelli applicativi e soluzioni tecniche.

II. Delimitazione del campo di indagine

A seguito di una prima schedatura di casi d'eccellenza nazionali e internazionali, la ricerca si è occupata dell'individuazione di metodologie di intervento riguardanti solo lo scenario nazionale e più specificatamente regionale, per una immediata verifica normativa ed una successiva diretta applicabilità. Inoltre si escludono dalla trattazione considerazioni generiche relative al funzionamento degli involucri evoluti, entrando invece nel dettaglio e individuando specificatamente quali siano i parametri che definiscono i fenomeni fisici innescati e correlati e le soluzioni applicative per ottenere tali fenomeni.

Altra delimitazione è relativa alla specifica famiglia di involucro trasparente su trasparente: si tratta fondamentalmente di doppie pelli vetro-vetro, la cui trattazione, come già precisato precedentemente, viene ripresa da un punto di definizione e conoscenza maggiore rispetto alle altre famiglie di involucro, in quanto già ampiamente affrontata e approfondita in anni precedenti all'interno del gruppo di ricerca di appartenenza coordinato dal prof. Fabio Conato e composto anche dall'arch. Simona Cinti e dall'arch. Giuseppe Camillo Santangelo. Per questa specifica famiglia si è ritenuto di spingere la trattazione ad un livello di dettaglio maggiore, anche attraverso la rielaborazione di dati sperimentali raccolti a seguito di una campagna di rilevamenti effettuati su un involucro a doppia pelle realizzato. Tale rielaborazione ha quindi fornito elementi utili per l'individuazione di modelli applicativi relativi anche alle altre famiglie di involucro.

Infine, come si evince dal titolo, la ricerca si è limitata a valutare il contesto italiano, calando poi le soluzioni e le tecnologie sviluppate nell'ambito ancora più ristretto della Regione Emilia-Romagna. Anche nella parte di analisi del contesto di riferimento si è ritenuto opportuno occuparsi e relazionarsi con gli strumenti normativi vigenti nella realtà regionale: questo confronto è stato svolto in maniera critica, cercando di identificare le criticità o le lacune presenti nella normativa vigente, in funzione dell'individuazione di elementi utili per una possibile revisione degli strumenti stessi.

III. Obiettivi della ricerca

L'obiettivo della ricerca punta alla identificazione delle modelli applicativi, di soluzioni e di possibilità offerte dagli involucri, alla definizione dei parametri fisici e tecnici e alle metodologie di analisi ed approccio progettuale, indispensabili per valorizzare la performance energetico - ambientale a completamento del concetto di qualità del progetto architettonico dell'involucro.

L'obiettivo principale della ricerca è perciò quello di sviluppare un metodo di analisi del patrimonio in esame, attraverso metodologie e parametri che possono influenzare l'impiego di sistemi e tecnologie per involucro.

Gli obiettivi intermedi su cui si è articolata la ricerca sono stati:

- la definizione dello stato dell'arte che ruota attorno al concetto di involucro evoluto;
- l'individuazione critica e puntuale degli elementi mancanti o non corretti relativi allo stato dell'arte e la corrispondente proposta di soluzioni a tali criticità;
- lo studio dei materiali e del sistema di componenti costituenti un involucro alla luce della suddetta rilettura critica, con l'individuazione delle tendenze in atto;
- la definizione di strumenti per l'organizzazione degli aspetti tecnologici e delle criticità ad essi associate;
- la raccolta di significativi progetti realizzati organizzata secondo una precisa schedatura;
- la definizione di modelli applicativi per soluzioni di involucro evoluto a comportamento dinamico.

IV. Individuazione delle metodologie e delle fasi di lavoro

Come già accennato, i risultati sono stati raggiunti attraverso una dettagliata analisi dello stato dell'arte appartenente allo scenario nazionale e internazionale dal quale sono state individuate le linee guida principali. La schedatura dei casi-studio ha costituito un elemento necessario per trarre ipotesi di strategie di intervento. La metodologia della ricerca si è avvalsa di indagini bibliografiche e di incontri con esperti del settore (progettisti, termotecnici, produttori, tecnici esperti, ecc.) per un confronto diretto sulle tematiche affrontate e una continua verifica di fattibilità delle ipotesi formulate.

Nello specifico, la ricerca si è quindi articolata secondo le seguenti fasi:

- un'indagine sulle tematiche relative all'inquadramento dell'oggetto della ricerca in relazione alle caratteristiche architettoniche e prestazionali dell'involucro edilizio, per la definizione dei principi di funzionamento dinamico e dei fenomeni fisici ad essi correlati. Questa fase si è fondata su confronti con ricercatori e professionisti del settore e su ricerche bibliografiche finalizzate al posizionamento del problema scientifico. La prima fase della ricerca ha visto anche l'approfondimento dei concetti attorno ai quali si snoda il percorso di ricerca, consultando anche fonti

trasversali (ad esempio, nell'ambito della fisica tecnica) alla disciplina di intervento (tecnologia) verso un'analisi completa del concetto di involucro evoluto;

- un'analisi tecnica volta all'individuazione dei fattori (interni ed esterni) necessari per accertare l'applicabilità di un involucro evoluto, in termini di efficiente funzionamento;
- un'analisi di alcuni casi specifici caratterizzati da particolari attenzioni verso una progettazione energeticamente efficiente;
- l'identificazione degli strumenti normativi e regolamentari esistenti, per il controllo della qualità ambientale e relativi all'introduzione della certificazione energetica degli edifici, a livello comunitario, nazionale e regionale in ragione delle conseguenze che l'affermazione di questi sistemi ha prodotto e continuerà a produrre inevitabilmente;
- la verifica della documentazione relativa al quadro esigenziale associato agli involucri costruiti per l'individuazione degli strumenti e la verifica di indicatori/parametri consoni alla valutazione qualitativa delle tipologie rappresentative degli involucri stessi.

La ricerca è strutturata sulle basi teoriche della fisica tecnica ambientale, relativamente all'interazione tra ambiente ed edificio, sulla valutazione dell'influenza dei fenomeni ambientali sul costruito, sulle possibilità di ottimizzazione dei flussi energetici naturali, sul bilancio termico degli edifici e sulla produzione energetica della componentistica tecnologica per lo sfruttamento delle fonti rinnovabili. Per quanto riguarda, nello specifico, gli aspetti relativi alla fisica tecnica si rimanda alla bibliografia di settore; in questa sede verranno ripresi i concetti di base.

V. Destinatari, ricadute ed evoluzione futura

La ricerca si rivolge a diversi soggetti ed enti che lavorano nel campo dell'edilizia ma principalmente vorrebbe diventare uno strumento utile per la progettazione: ecco perché le categorie interessate da tale studio potrebbero essere quelle di progettisti, consulenti e aziende che producono sistemi o componenti applicabili in tali involucri. Considerati i più recenti aggiornamenti della normativa, la ricerca vuole anche individuare linee guida e di approccio per un eventuale adeguamento o precisazione della normativa stessa, ipotizzando ripercussioni e ricadute anche a livello regolamentare, sia regionale che comunale.

Nella formulazione e verifica dei modelli applicativi per soluzioni di involucro evoluti, la ricerca si è limitata ad esaminare solo alcune delle soluzioni individuate: si intende proseguire la ricerca nel controllo anche di altri modelli.

Infine, come indicato nelle conclusioni, sono emerse lacune e imprecisioni relative alla progettazione della componentistica di interfaccia tra le pelli che compongono l'involucro: l'evoluzione della ricerca, in parte già in atto, è quello relativa all'approfondimento di tale ambito, ipotizzando anche la definizione di brevetti di soluzioni di componenti.

**Parte prima – Analisi dello stato dell'arte e
individuazione delle criticità**

1

Capitolo 1 – Analisi dello stato dell'arte: il concetto di involucro evoluto dalla sua prima definizione ad oggi

1.1 Evoluzione del concetto di involucro evoluto a comportamento dinamico: dai sistemi a doppia pelle vetro-vetro alla definizione delle famiglie di involucro

1.1.1 Dinamiche e percorsi di innovazione per l'involucro evoluto

1.1.2 Involucro evoluto a comportamento dinamico: definizione e step di avanzamento

1.1.3 Applicabilità degli involucri evoluti a comportamento dinamico nel contesto italiano

1.2 Recepimento delle direttive europee in ambito di risparmio energetico: quadro normativo europeo, italiano e regionale

1.2.1 Un quadro normativo complesso

1.2.2 La Direttiva Europea 2002/91/CE sul rendimento energetico degli edifici

1.2.3 La recente evoluzione della L.10/91

1.2.4 Il D.P.R. 6 marzo 2009 sul D. Lgs 192 del 2005 per il rendimento energetico degli edifici

1.2.5 La delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n. 156/2008

1.3 Analisi dello stato dell'arte relativo alla problematica ambientale: la situazione internazionale e nazionale

1.3.1 Problematiche ambientali

1.3.2 Prospettive in Europa

1.3.3 Situazione italiana

1.4 Problemi e criticità individuati nell'analisi dello stato dell'arte

1.4.1 Individuazione delle criticità delle soluzioni presenti

1.4.2 Individuazione delle criticità costruttive, economiche e normative

1.1 Evoluzione del concetto di involucro evoluto a comportamento dinamico: dai sistemi a doppia pelle vetro-vetro alla definizione delle famiglie di involucro

All'interno del panorama delle innovazioni nel settore delle chiusure esterne la famiglia degli involucri evoluti raccoglie una serie di soluzioni costruttive che possono essere considerate innovative per diversi aspetti. In generale sono le tecnologie, i materiali e i principi di funzionamento che possono essere definiti innovativi; in specifico però, l'innovazione per questi involucri consiste in un nuovo e diverso approccio alla progettazione che prevede la determinazione di un sistema costruttivo composito, spesso costituito da più soluzioni diverse da applicare nello stesso intervento edilizio e da adottare in funzione delle prestazioni richieste al variare delle condizioni ambientali esterne (orientamento, specifiche caratteristiche dell'intorno di applicazione di ogni facciata) e di caratteristiche ambientali interne (tipologia edilizia, destinazione d'uso). Il risultato può essere costituito da un unico involucro le cui caratteristiche funzionali, materiche e quindi prestazionali variano sensibilmente all'interno dello stesso edificio o, addirittura, dello stesso prospetto. A ciò si aggiunga, inoltre, un elevato livello di integrazione tra chiusura e impianti con una conseguente razionalizzazione nell'impiego delle risorse combustibili o, addirittura, la possibilità di sfruttamento di fonti rinnovabili (fig. 1.1).

Il settore degli involucri, rispetto ad altri ambiti del panorama edilizio, ha visto negli ultimi anni un notevole sviluppo, sia in termini di soluzioni costruttive adottate (materiali e tecnologie) che in termini di prestazioni offerte. Di qui l'interesse nei confronti di questo fenomeno e la conseguente necessità di indagare da una parte le motivazioni che hanno indotto a questo repentino sviluppo e dall'altra i risultati di tale trasformazione; ovvero, quali siano oggi le più evidenti tendenze di innovazione, sia in ambito europeo che, soprattutto, in ambito italiano.

Lo scenario principale dell'innovazione, per le chiusure esterne, è il contesto nord europeo (fig.1.2).

Questo assunto consente di operare una serie di considerazioni e di valutazioni in relazione a quanto avviene nel territorio italiano, luogo anch'esso soggetto all'influenza e al fascino delle nuove tecnologie già comunemente sperimentate e poi diffusamente adottate in Europa. Le dinamiche di innovazione che caratterizzano l'Italia, per quanto presenti e visibilmente attive (almeno negli interventi di grande respiro tecnologico e architettonico), risultano molto differenti rispetto a quelle che, invece, si sviluppano in altri luoghi; per alcuni versi, l'intero processo di innovazione può essere considerato molto più lento e discontinuo, sicuramente influenzato da fenomeni economici, culturali, politici ed ambientali decisamente complessi.

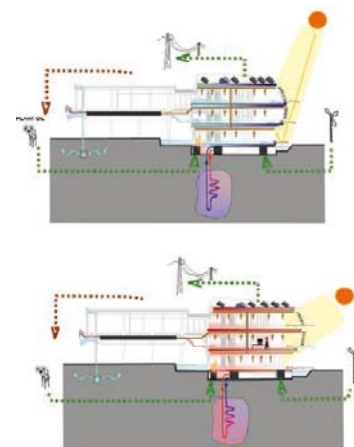


Figura 1.1 Schema illustrativo del flusso energetico e luminoso nel periodo estivo ed invernale della sede amministrativa del WWF in Olanda.



Figura 1.2 Edificio per uffici ad Helsinki, progettato da Arkkitehtitoimisto Jan Soderlund.

1.1.1 Dinamiche e percorsi di innovazione per l'involucro evoluto

Al fine di comprendere quanto sta avvenendo nel contesto italiano e per tentare di prevedere cosa accadrà nei prossimi anni è necessario riconoscere, definire e indagare, a caratteri generali, quali siano le dinamiche dell'innovazione e come agiscono nel loro contesto di applicazione. Tale operazione diventa rilevante al momento dell'analisi dell'ambito italiano, dove la diffusione di nuove soluzioni costruttive segue specifiche direttrici dovute, per le soluzioni innovative di involucro ultimamente adottate, ai principi di trasferimento di innovazione dal contesto nord europeo. In ambito tecnologico risulta ancora valida ed appropriata la classificazione che distingue le innovazioni in fondamentali, adattive e funzionali¹. Le prime hanno il carattere di vere e proprie scoperte o invenzioni, in quanto introducono sistemi o prodotti che forniscono risposta ad esigenze fino a prima rimaste insoddisfatte, la cui importanza è tale da costituire un cambiamento sostanziale, qualitativo per la società. Le innovazioni adattive sono invece determinate dal trasferimento di elementi, sistemi e tecniche innovative da un settore all'altro: sono innovazioni preesistenti che, acquisite da altri ambiti di impiego, vengono modificate e adattate per quello nuovo. E infine le innovazioni funzionali che sono legate alla naturale evoluzione di alcune tecniche o elementi già consolidati. L'origine del processo d'innovazione, secondo altri punti di vista può anche essere interpretata come una manifestazione di squilibrio all'interno di un dato ambito, all'interno del quale sono intervenuti fattori di perturbazione che hanno alterato lo stato di equilibrio preesistente. La fase matura del processo corrisponde alla produzione di innovazione mirante a ristabilire un nuovo equilibrio all'interno del sistema. Situazioni di stallo, di squilibrio, di disagio possono scatenare il processo innovativo in quanto vanno a generare le esigenze o i valori ai quali l'innovazione dovrà rispondere. Tentando di schematizzare e classificare gli *stati di necessità*, i bisogni critici che muovono il processo innovativo, è possibile suddividerli in necessità convenzionali e necessità nuove. Le prime si riferiscono alle questioni già presenti da tempo all'interno di un dato sistema, ma che sono continuamente oggetto di ricerca tesa a migliorare e innalzare la qualità delle soluzioni operate, come il problema dell'isolamento termico, acustico o il risparmio dell'energia elettrica (fig.1.3). Le seconde comprendono tutti i problemi di recente assunzione che necessitano non



Figura 1.3 Isolante termoriflettente multistrato, costituito da 19 pellicole sottili per un totale di circa 30mm di spessore con un'efficacia termica equivalente a 210 mm di lana minerale.

¹ In ambito architettonico risulta utile e appropriata la classificazione operata da Hickling che distingue le innovazioni in fondamentali, adattive e funzionali, ripresa poi nell'ambito del Dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura sin dai primi anni di formazione. Rif. *Qualità del prodotto e qualità del processo: tendenze innovative finalizzate alla costruzione del progetto di architettura* di Marta Bizzotto, Simona Cinti e Danila Longo, XVI ciclo del Dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura – FAF Facoltà di Architettura di Ferrara, IUAV Istituto Universitario di Architettura di Venezia e Facoltà di Architettura di Cesena.

solo la messa a punto di soluzioni efficaci, in termini di prodotto e di servizi, ma esigono inoltre la costituzione di tutto un apparato di informazioni, parametri, strumenti di misurazione, essenziale per poter produrre ed attuare la soluzione. In questa categoria vengono contemplati i temi legati alla salute, alla qualità dell'ambiente interno, alla sicurezza contro l'incidente domestico, all'impiego di materiali rinnovabili, al riuso degli scarti (fig. 1.4). Il fenomeno innovativo risolve pertanto un problema che si pone a monte e che determina la necessità (o comparsa) di nuovi requisiti a cui la tecnologia deve rispondere e che determina un intervento, processuale o materiale, che elimini tale problema. Riferendosi alla sfera del singolo manufatto edilizio, i requisiti a cui la tecnologia è chiamata a rispondere possono essere identificati in un'idea di qualità valutata su una scala di tempo e di luogo globale: ciò che potremmo definire qualità sostenibile, che accoglie in sé istanze e valori maturati negli ultimi trent'anni, generati all'interno del dibattito sullo *sviluppo sostenibile*. *Qualità sostenibile* diviene oggi il paradigma di un'azione produttiva che persegua il benessere, lo sviluppo e l'innalzamento del livello di valori (estetici, funzionali, prestazionali), rispettando simultaneamente la necessità di soddisfare i bisogni delle generazioni attuali senza compromettere la capacità delle generazioni future di fare altrettanto². Tale generico obiettivo si è concretizzato, nell'ultimo ventennio nel nord Europa, non solamente in una maturità culturale che chiede e consapevolmente apprezza soluzioni costruttive sostenibili, ma, soprattutto, in una serie di campagne di sensibilizzazione e attività normative (cogenti e volontarie) emanate dalle Pubbliche Amministrazioni³ capaci di indirizzare la produzione edilizia verso soluzioni costruttive volte, in generale, al raggiungimento della *qualità sostenibile*. L'innovazione tecnologica e progettuale si orienta verso la ricerca di specifiche direttrici basate principalmente sul risparmio energetico, rispettando contemporaneamente una serie di parametri legati al corretto inserimento ambientale dell'intervento, al rispetto del contesto storico-culturale di appartenenza, alla qualità delle soluzioni costruttive proposte, sulla tutela della salute degli utenti direttamente ed indirettamente coinvolti. Le soluzioni progettuali prevedono pertanto scelte costruttive consapevoli, l'uso di materiali, di prodotti e



Figura 1.4 Esistono in commercio numerosi prodotti innovativi a matrice rinnovabile, quali quelli a base di fibre naturali come canapa, kenaf, cotone, juta, legno, cocco, paglia, lino, sughero, sisal, mais e carta riciclata.

² Il rapporto Brundtland (Our Common Future) è un documento rilasciato nel 1987 dalla Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo (WCED) dove per la prima volta, viene introdotto il concetto di sviluppo sostenibile. Il nome viene dato dalla coordinatrice Gro Harlem Brundtland che in quell'anno era presidente del WCED e ha commissionato il rapporto. La sua definizione in breve era la seguente: « lo Sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni » (WCED, 1987)

³ Tra le altre, si citano alcune Pubbliche Amministrazioni particolarmente lungimiranti come ad esempio la Regione Lombardia, Liguria, Emilia Romagna.

componenti non nocivi e si concentrano su soluzioni tecnologiche nuove inserite in un preciso contesto architettonico e culturale. Un intervento di questo tipo, sintetizzato con lo slogan *think globally, act locally* (Conferenza Internazionale Sustainable Building 2000, Maastricht), presuppone, in fase progettuale, un'analisi critica degli strumenti tecnici e tecnologici a disposizione, tale da rendere possibile, fin dalla concezione dell'opera stessa, la valutazione sintetica dei rapporti intercorrenti tra tecnologie applicative ed implicazioni progettuali.

1.1.2 Involucro evoluto a comportamento dinamico: definizione e step di avanzamento

Secondo questo filone si è orientata l'innovazione nel settore degli involucri. Risparmio energetico, qualità dell'abitare, riuso, riciclo, industrializzazione nella produzione e nella messa in opera costituiscono alcune delle principali premesse (motori) per la ricerca di soluzioni costruttive nuove, per i materiali impiegati, per le tecnologie adottate e per i principi che ne regolano il funzionamento.

Insieme a queste esigenze si è aggiunta, negli ultimi anni, la pressante necessità di risolvere il problema del patrimonio edilizio esistente, da recuperare e aggiornare agli standard qualitativi oggi ormai consolidati che rendono obsoleto gran parte del costruito. Non si tratta di innovazioni fondamentali, ma di innovazioni di tipo adattivo e funzionale che si sono sviluppate, modificate, in alcuni casi riadattate, per rispondere alle esigenze del contesto di applicazione. Come già anticipato, tali operazioni sono già state attivate da diversi anni nel nord Europa con il risultato di una decisa trasformazione nel processo che coinvolge l'intero settore edilizio. Trasformazione che non ha coinvolto, se non marginalmente, l'ambito italiano; qualcosa di significativo sta, però, ora accadendo, grazie alla nuova normativa sulla Certificazione Energetica che agisce come motore di innovazione introducendo una nuova serie di vincoli a cui si dovrà dare risposta.

La Direttiva 2002/91/CE, che ha ispirato i Decreti legislativi 192/05 e 311/06, basa la sua struttura sull'assunto che il 40% dei consumi energetici comunitari attengono al funzionamento degli edifici. L'obiettivo della Direttiva Comunitaria è quello di affrontare la progettazione in maniera globale, tenendo sotto controllo il consumo di energia primaria attraverso una serie integrata di azioni convergenti e multidisciplinari. Tale azione deve necessariamente allargarsi all'edilizia esistente, che rappresenta una percentuale decisamente maggioritaria rispetto a quella di nuova costruzione. Questa circostanza si intreccia con quella altrettanto attuale della riqualificazione urbana, che vede nelle periferie delle città europee il terreno più

fertile su cui far convergere gli sforzi della pianificazione e della progettazione edilizia.

L'involucro edilizio diviene così il ponte ideale tra edificio, territorio ed efficiente uso dell'energia. I sistemi di involucro perdono la loro caratteristica statica, monoprestazionale e monomateriale, per divenire cortine cangianti, nelle quali singoli strati possono comporsi tra loro e giustapporsi ad altri esistenti, raggiungendo nel contempo lo scopo di caratterizzare, riqualificare, attualizzare ed incrementare il livello prestazionale.

I nuovi edifici e quelli preesistenti divengono parte di una nuova scena urbana, che parla il linguaggio dell'architettura globale e che diviene sinonimo di qualità ed efficiente uso dell'energia (fig. 1.5).

Data la complessità della progettazione dell'involucro, che deve garantire livelli prestazionali elevati e divenire applicabile al nuovo come all'esistente, il terreno più fertile su cui far germogliare la futura generazione di edifici è quindi quello della dinamicità, della scomposizione dei comportamenti termici in singoli fenomeni fisici, utilizzando i materiali per le loro caratteristiche intrinseche e componendoli in un insieme capace di rispondere alle variazioni di condizione. La progettazione degli involucri evoluti a comportamento dinamico, assumendo nel tempo accezioni particolari, ha ampliato notevolmente il proprio ambito di applicazione. A seguito di anni di ricerca e di verifiche di validità del sistema, il concetto di involucro a comportamento dinamico è mutato ed evoluto, permettendo un ampliamento delle possibilità di realizzazione a più livelli e in differenti contesti geografici, normativi ed imprenditoriali.

- a) La prima definizione considerava soluzioni estremamente innovative, applicate e applicabili soltanto in rari casi e soprattutto in contesti internazionali: tali sistemi cominciavano a prendere corpo nel panorama delle costruzioni con non pochi limiti e condizioni, spesso dettate da norme e leggi non ancora in grado di accogliere questa tipologia di soluzione. Di fatto si trattava di tecnologie fortemente high-tech: doppie pelli vetro-vetro costituite da facciate continue strutturali, piuttosto che da facciate a fissaggio puntiforme, con sistemi di ancoraggio complessi e dispositivi per l'integrazione, la compartimentazione e l'automazione necessari per il corretto funzionamento dell'involucro; tecnologie che si potrebbero associare ad una innovazione di tipo fondamentale (fig. 1.6). Una delle prime ipotesi di sviluppo di tali sistemi mirava all'automazione, alle nano tecnologie, verso cioè un'innovazione pura.
- b) Successivamente sembrò invece opportuno cominciare a mettere a sistema diversi componenti e soluzioni prima non considerati: quali ad esempio, fenomeni fisici e i fattori ambientali interni ed esterni, fissi e variabili che fino a quel momento

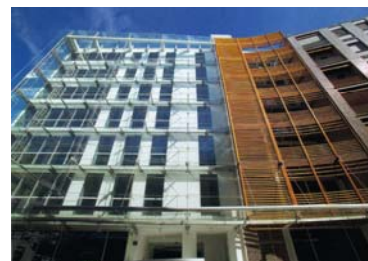


Figura 1.5 Ristrutturazione di edificio per uffici a Milano.

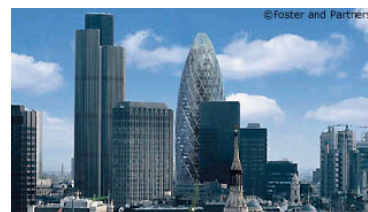


Figura 1.6 Edifici per uffici londinesi.



Figura 1.7 Edifici residenziali in Rue de Meaux, Renzo Piano



Figura 1.8 Quattro famiglie di involucro individuate e definite all'interno della ricerca del laboratorio Larco

erano stati valutati singolarmente nella progettazione delle doppie pelli, ma che invece richiedevano una trattazione più organica. L'obiettivo era quello di trovare un sistema in grado di stimare le prestazioni correlate all'involucro trasparente anche in funzione degli involucri nei quali una o entrambe le pelli fossero opache e traslucide. L'analisi e la reinterpretazione dei fattori di influenza ha fornito la possibilità di sistematizzare considerazioni, date per scontate fino a quel momento, relative agli involucri opachi e traslucidi, permettendo così una più corretta e completa progettazione delle doppie pelli. L'involucro evoluto poteva essere inteso pertanto quasi come una più puntuale rilettura della definizione data fino a quel momento, alla luce di tutti quei criteri fondanti nello studio dei sistemi vetro-vetro (fig. 1.7).

c) La terza generazione di involucri ha visto come tema fondante l'organizzazione e sistematizzazione dei dati raccolti in base alla tipologia di materiali (trasparenti, traslucidi e opachi). Tale decisione derivava dalla consapevolezza che l'analisi dei materiali da costruzione non poteva più essere prettamente materica, legata perciò agli aspetti fisico – chimici costituenti. La spinta sempre più forte verso l'efficienza energetico – ambientale imponeva l'analisi dei materiali e dei sistemi costruttivi sotto un altro punto di vista, legato per esempio alla capacità di assorbire calore, alle caratteristiche di irraggiamento solare, ecc. (fig. 1.8).

d) L'ultimo step nella definizione degli involucri a comportamento dinamico parte proprio da queste riflessioni, puntando verso una lettura trasversale di tutte le considerazioni fatte nelle fasi precedenti con una nuova e fondamentale valutazione: alla luce delle nuove normative (a livello europeo le Direttive Europee 2002/91/CE e 2006/32/CE, a livello nazionale i D.Lgs. 192/05 e D.Lgs. 311/06 e a livello regionale le leggi e delibere come ad esempio quella della Regione Emilia Romagna Delibera dell'Assemblea Legislativa 04/03/2008 n. 156) la progettazione dell'involucro non può più prescindere da un funzionamento sistemico, nemmeno nei casi più banali e semplici, nei quali è comunque necessario valutare consapevolmente le regole del buon costruire. Regole quali un buon isolamento, giusti accorgimenti per l'orientamento e la protezione solare sono sempre state applicate nella storia delle costruzioni: oggi però possono essere tenute sotto controllo in maniera più efficace in ogni fase del processo edilizio. Attraverso l'utilizzo di sistemi di simulazione, di previsione (software previsionali in grado di fornire le condizioni di esercizio dell'edificio e dell'involucro nei carichi di picco per ciascun mese, cioè nella situazione più sfavorevole presente in ogni mese dell'anno) è possibile rendere sistematico quello che un tempo era più intuitivo e talvolta casuale. L'involucro evoluto si configura così come un elemento da progettare in maniera organica e non secondo lo sfruttamento di una specifica prestazione di un singolo materiale o di una

singola tecnologia. La presente ricerca si occupa e approfondisce quest'ultimi aspetti.

Alla luce di tutte queste considerazioni, è possibile affermare che non esistono involucri non evoluti: anche l'involucro più semplice costituito da strati giustapposti deve prevedere una progettazione complessa relativa ai fenomeni fisici correlati, ai fattori fissi e variabili, nell'ottica del rispetto degli standard minimi stabiliti dalle normative energetiche.

È questa la quarta generazione di involucri evoluti, quella in cui i sistemi dinamici di terza generazione (doppia pelle, facciata ventilata, frangisole, muri di trombe), si compongono e scompongono, riassemblandosi nel progetto di architettura, che unitamente alle indicazioni provenienti dall'analisi del sito ne plasma la forma e le caratteristiche. (fig. 1.9).

Ecco che si delinea e comprende maggiormente la denominazione di involucro evoluto a comportamento dinamico: il termine *involucro evoluto* rimanda all'idea di una soluzione che deriva dall'elaborazione, dalla trasformazione e, naturalmente, dal perfezionamento di un sistema tecnologico o un materiale di origine tradizionale; l'espressione *a comportamento dinamico* dichiara, invece, i principi di funzionamento che sottendono alla definizione delle prestazioni offerte da queste innovative chiusure esterne.

Dal raffronto con i sistemi e le tecnologie tradizionali appare evidente, quindi, che gli involucri evoluti a comportamento dinamico presentano prestazioni innovative sia per la natura dei materiali impiegati e per le specifiche costruttive che ne regolano l'applicazione - ma non necessariamente - che, soprattutto, per i principi attraverso i quali risulta possibile ottenere un funzionamento dinamico.

Per definizione, questi involucri si compongono di due distinte pelli, separate da un'intercapedine d'aria. Le due pelli possono essere realizzate con materiali e sistemi costruttivi diversi, in modo da ottenere una discreta gamma di soluzioni costruttive. Le caratteristiche di una chiusura così configurata risultano tali da consentire l'innescio e lo sfruttamento di fenomeni fisici naturali complessi, capaci di introdurre prestazioni elevate e variabili all'occorrenza. Gli involucri evoluti, infatti, possono essere definiti come chiusure dinamiche volte a produrre non solo un diaframma protettivo, ma un luogo attivo d'interscambio tra energia interna ed esterna prodotta, accumulata ed espulsa in funzione delle condizioni ambientali esterne (esistenti) ed interne (desiderate). Tale attività risulta qualitativamente e quantitativamente variabile in funzione delle caratteristiche fisiche e meccaniche delle due facciate che compongono l'involucro e del grado di complessità nella gestione dell'intercapedine



Figura 1.9 Centro Marittimo Vellamo, Architects Lahdelma & Mahlamäki, Kotka, Finlandia.

La dinamicità delle prestazioni offerte costituisce quindi la maggiore discriminante che qualifica questi involucri evoluti rispetto alle chiusure tradizionali. Storicamente, queste ultime sono nate e si sono sviluppate per rispondere alle esigenze imposte dalle condizioni climatiche più estreme del contesto di applicazione (ad esempio le condizioni invernali per i Nord Europa e le condizioni estive per il Mediterraneo); gli involucri evoluti, invece, possono rispondere, in termini prestazionali, alla variabilità sia delle condizioni climatiche (stagionali, ma anche giornaliere), che delle condizioni ambientali interne, anche in contesti geografici e climatici intermedi, dove risulta più difficile conciliare la variabilità invernale - estiva.

I fenomeni fisici generati, e le relative prestazioni dinamiche raggiunte, derivano principalmente dall'adozione di soluzioni costruttive, per la pelle esterna, capaci di intercettare, dirigere, accumulare, espellere le radiazioni solari o gli effetti da esse prodotti. Per questo motivo, soprattutto nel contesto mediterraneo, alla pelle interna sono affidate le prestazioni tradizionalmente legate al concetto di chiusura, di limite fisico tra l'interno e l'esterno; la pelle esterna, invece, insieme all'intercapedine, raggiunge le prestazioni dinamiche. Inoltre, mentre l'involucro interno può essere realizzato con sistemi e tecnologie anche di tipo tradizionale, che per il contesto mediterraneo risultano principalmente definite da tecniche "a umido" (murature a piccoli elementi, ecc.), l'involucro esterno è spesso realizzato attraverso l'impiego di sistemi "a secco".

Ogni facciata è il luogo in cui si addensano esigenze diverse, determinate da orientamento, rapporto con il costruito circostante e con gli elementi naturali, presenza di elementi inquinanti od infrastrutture, nonché destinazione d'uso e funzionalità interna. Ad ognuna di queste esigenze corrisponde una diversa declinazione del tema relativo all'involucro, del quale viene determinata una prestazione complessiva frutto della sommatoria e della sinergia delle singole prestazioni. Guardando al complesso tema della certificazione energetica, che deve scontrarsi con l'esigenza di contenere l'utilizzo di energia primaria, tale condizione non è che un punto di partenza.

Aver realizzato un involucro a comportamento diversificato e variabile, nel quale ogni porzione di edificio sfrutta l'effetto serra, l'effetto camino, l'ombreggiamento, l'inerzia termica, a seconda della condizione, della stagione e dell'ora del giorno, consente infatti di fare interagire siffatto sistema con molti elementi capaci di influire con i consumi energetici.

La strada delineata porta ad una meta ambiziosa e non facile da raggiungere, che tuttavia costituisce un affascinante campo di ricerca multidisciplinare all'interno del

quale il progetto di architettura è finalmente l'elemento centrale. Allo stato attuale esistono diversi soggetti di comprovata esperienza e capacità, in grado di effettuare valutazioni circa l'efficienza energetica e di fornire certificazioni relative a criteri contenuti nelle normative locali. Perché si attui quel passaggio auspicato tra certificazione formale ed edilizia ad alta efficienza energetica occorrerà tuttavia un notevole sforzo di integrazione tra progettisti, certificatori, aziende ed Enti che svolgono ricerca.

1.1.3 Applicabilità degli involucri evoluti a comportamento dinamico nel contesto italiano

L'obbligo di certificazione energetica introduce finalmente, anche per l'Italia, un reale motore di innovazione che potrebbe portare ad una sensibile diffusione degli involucri di *quarta generazione*.

Fino ad oggi si è assistito ad un trasferimento di innovazioni che è stato quasi sempre caratterizzato da un'acritica applicazione di tecnologie; introdotte nel nord Europa per rispondere a esigenze di un contesto definito da specifiche realtà culturali, normative e costruttive, tali innovazioni sono state in molti casi (come per le doppie pelli vetrate) adottate in Italia utilizzando logiche funzionali e costruttive spesso in contrasto con i principi e le finalità per le quali queste soluzioni sono nate; ciò che è mancato è stata la volontà e, soprattutto, la necessità di adattarle e modificarle per adeguarle alle caratteristiche del contesto italiano. Se le esigenze possono essere considerate comuni a quelle del nord Europa, le specificità dell'Italia risultano estremamente differenti e comportano la valutazione di regole e vincoli diversi. Questi ultimi possono essere brevemente riassunti in:

- specifiche caratteristiche climatiche, che rendono il contesto italiano genericamente definito da temperature elevate in estate e rigide in inverno; a ciò devono corrispondere soluzioni di involucro capaci di offrire prestazioni variabili in funzione del deciso cambiamento stagionale. Tali soluzioni non possono più, quindi, essere semplicemente mutate attraverso il banale trasferimento di principi costruttivi e materiali da ambiti più avanzati ma contraddistinti da un clima differente;
- presenza di un ingente patrimonio edilizio esistente che attualmente non risponde, in termini prestazionali, alle esigenze richieste. Tale patrimonio risulta in gran parte costituito, per l'edilizia residenziale, da edifici composti da unità immobiliari di proprietà; ciò rende evidentemente difficoltosa anche la definizione di soluzioni di involucro, in caso di riqualificazione, che possano superare tutti i vincoli derivanti da questa condizione;

- concezioni culturali ancora legate ai materiali e alle tecnologie costruttive tradizionali. In generale, l'applicabilità di una nuova tecnologia non è vincolata solamente al valore del sistema costruttivo, in termini di corretto funzionamento e vantaggio economico, ma risente sensibilmente anche di una serie di fattori legati alle tendenze culturali della società in cui essa viene inserita. Il livello di gradimento da parte dell'utenza costituisce un importante fattore rivelatore delle condizioni di applicabilità di una nuova tecnologia, soprattutto se si considera che ogni bene edilizio possiede un valore economico che dipende dalla domanda che ne fa il mercato.

La diffusione di un'edilizia storica caratterizzata dall'impiego di chiusure costruite con materiali pesanti e opachi influisce notevolmente sulle concezioni generali dell'utenza (e/o committenza) in relazione agli involucri degli edifici. Ad esempio, l'uso del vetro nell'edilizia comune, in particolare nella destinazione d'uso residenziale, è sempre stato limitato al tamponamento delle aperture. Pertanto, questo materiale è considerato come accessorio alla chiusura e non definito da caratteri fisici e meccanici che possano offrire prestazioni assimilabili a quelle di laterizio o pietra; prestazioni che si riferiscono non solamente al controllo del microclima interno ma che inducono anche particolari concezioni inerenti il benessere psicologico. Al vetro, infatti, sono associati, nella cultura costruttiva italiana, attributi quali trasparenza e fragilità, ovvero caratteristiche che non rispondono alle esigenze di sicurezza e di protezione (anche visiva) richieste di norma ad un involucro.

Gli involucri evoluti a comportamento dinamico, se opportunamente adottati, offrono l'opportunità di superare molti dei limiti imposti dal contesto italiano. Ciò avviene grazie alla possibilità di integrare tecnologie evolute con sistemi e materiali tradizionali, di variare famiglia di involucro (ovvero i materiali che compongono le due pelli) in funzione delle caratteristiche ambientali esterne ed interne all'edificio ed, infine, all'opportunità di definire e ottenere prestazioni variabili. Nella composizione di involucri evoluti a comportamento dinamico si inseriscono, nella maggioranza dei casi, sistemi o prodotti differenti. La presenza di pelli anche diverse tra loro induce, durante il processo di progettazione, alla valutazione e all'analisi di sistemi costruttivi diversi che devono essere posti in relazione tra loro; il fine è infatti la realizzazione di un sistema di involucro in cui tutti i componenti si integrano tra loro, definendo un sistema complesso capace di offrire prestazioni dinamiche.

Questa composizione complessa non deve solamente offrire le corrette prestazioni (dettate ad esempio dalla certificazione energetica o da valori certificabili genericamente), ma entrano in gioco anche aspetti diversi, dipendenti da fattori legati

alla destinazione d'uso del fabbricato e tutti gli aspetti inerenti il processo edilizio; in particolare, si fa riferimento alla semplicità della realizzazione (ostacolata spesso dai problemi di interfaccia tra i vari componenti), ai costi di costruzione, e quindi sia ai costi dei prodotti, ma anche ai costi legati al cantiere, alla facilità di posa, alla velocità, ecc.

Da queste premesse risulta necessario puntualizzare in maniera più dettagliata quali siano gli scenari e contesti di riferimento, innanzitutto normativi, della ricerca.

1.2 Recepimento delle direttive europee in ambito di risparmio energetico: quadro normativo europeo, italiano e regionale

Tappe fondamentali a livello normativo sul contenimento energetico si sono affacciate nel campo dell'edilizia italiana a partire dalla legge 373 del 1976. Negli anni si sono susseguiti provvedimenti, regolamenti e normative sia a livello europeo, italiano e regionale, spesso con strumenti a cascata, di recepimento della norma di grado superiore. Affianco a tali provvedimenti, però, si è assistito ad una proliferazione di altri strumenti (principalmente regionali) che, sostituendosi temporaneamente alla norma di grado superiore (nazionale) miravano a colmare i vuoti lasciati dai ritardi della formulazione di decreti attuativi degli stessi.

Si configura così uno scenario normativo di non immediata interpretazione. Il presente studio ha tentato di riordinare la materia complessa e diversificata.

1.2.1 Un quadro normativo complesso

Già negli anni Settanta la questione energetica cominciò a suscitare interesse. Con l'avvento della crisi petrolifera, ci si rese conto dell'impossibilità di gestire la fonte di energia resa indispensabile dalla politica dell'economia industriale. La legge 373 del 30 aprile 1976 *Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici*, introdusse, per la prima volta nell'ambito del quadro normativo italiano, il concetto di consumo e risparmio energetico, fornendo però istanze a livello molto generico, sui singoli componenti e non sul sistema nella sua complessità.

Successivamente alla 373/76, venne emanata la legge 10/91 *Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia* che cominciò a disciplinare l'edificio rispetto al contesto in cui era inserito, affrontando, per la prima volta, il problema in maniera multidisciplinare. In linea teorica, la legge 10 avrebbe potuto stabilire una svolta nella progettazione edilizia; purtroppo però, nella pratica, si

concretizzò in un'occasione mancata, in quanto non furono mai emanati i decreti attuativi, se non fino a quelli del D. Lgs 192/2005.

Dagli anni Novanta si susseguirono decreti, leggi, normative, regolamenti e atti di indirizzo che cominciano solo ora ad avere una significativa incidenza nella progettazione edilizia.

Con il Rapporto Brundtland (Our Common Future), rilasciato nel 1987 dalla Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo (WCED), si introducono le problematiche legate alla sostenibilità, introducendo la dimensione sociale (di equità e giustizia) come fondante le scelte future.

Nel marzo del 1992 il Quinto Piano d'Azione *Per uno sviluppo durevole e sostenibile - Programma politico e d'azione della Comunità Europea a favore dell'ambiente e di uno sviluppo sostenibile*, parallelamente alla Conferenza di Rio de Janeiro⁴ ha assunto integralmente i principi dello sviluppo sostenibile. In questo documento furono individuate criticità ambientali tra cui: l'inquinamento atmosferico e delle acque, il degrado del terreno, la riduzione della biodiversità e il deterioramento del patrimonio architettonico in ambiente urbano. Inoltre si ipotizzò una gamma diversificata di mezzi d'azione: strumenti legislativi, economici, incentivi e misure fiscali, strumenti orizzontali di sostegno come l'informazione ambientale, la promozione della ricerca scientifica e dello sviluppo tecnologico e della formazione professionale, ecc.

E ancora. Conferenze, tavoli di discussione, conferenze di servizi, documenti declaratori (tra cui si ricordano l'Agenda 21, la Carta europea dell'energia, il Protocollo di Kyoto, il Summit di Johannesburg delle Nazioni Unite) hanno determinato un contesto di riferimento normativo piuttosto complesso, caratterizzato dalla frammentarietà delle disposizioni di legge e della eterogeneità degli strumenti.

Per comprendere la vastità e la frammentarietà del corpo normativo, si riporta di seguito un veloce excursus sui principali strumenti legislativi emanati in ambito energetico – ambientale, che verranno meglio dettagliati nei paragrafi successivi:

- Direttiva 93/76/CEE del 13 settembre 1993 intesa a limitare le emissioni di biossido di carbonio migliorando l'efficienza energetica (SAVE);

⁴ La Commissione per lo Sviluppo Sostenibile (CSD) è stata istituita in occasione della Conferenza sull'Ambiente e lo Sviluppo (Rio de Janeiro 1992) quale organo incaricato di assistere e vigilare l'attuazione del Piano d'Azione di Rio (Agenda 21) e degli altri accordi internazionali. La CSD è una commissione funzionale del Consiglio Economico e Sociale (ECOSOC) dell'ONU, composta da 53 Stati membri eletti per tre anni secondo una chiave di ripartizione geografica. La sessione ordinaria si riunisce ogni anno, con la partecipazione dei 53 Ministri di turno e delle oltre 100 Organizzazioni Non Governative.

- D.P.R. n. 412/93 Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione e la manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4 della legge 9 gennaio 1991, n.10;
- Direttiva 2001/77/CE per l'energia elettrica da fonti rinnovabili, recepita nell'ordinamento italiano col Decreto Lgs 387/2003;
- Direttiva 2002/91/CE ripropone e rafforza la direttiva 93/76/CE sul rendimento energetico nel settore *dell'edilizia* introducendo un sistema di certificazione energetica degli edifici;
- D. Lgs 192/2005 Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia;
- D. Lgs 311/2006 Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia;
- Direttiva 2006/32/CE del 5 aprile 2006 concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici.

Scendendo poi di scala, la normativa nazionale viene recepita dalle singole amministrazioni regionali e comunali con tempi e strumenti di attuazione profondamente differenti da luogo a luogo: questo amplifica notevolmente il problema determinando una ancora più vasto campo di indagine.

1.2.2 La Direttiva Europea 2002/91/CE sul rendimento energetico degli edifici

La direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia, rappresenta una misura a lungo attesa, a fronte di un generico trend di crescita nei consumi nel settore edile. Rispetto al passato, vi è un'attenzione molto maggiore al raffrescamento e al condizionamento d'aria. Un motivo è certamente quello che l'aumento del tenore di vita e della richiesta di comfort ha fatto aumentare nell'ultimo decennio la domanda energetica per il condizionamento molto più che non quella per il riscaldamento degli edifici; anche se quest'ultima è ancora prevalente, non è più lecito trascurare la prima. Una seconda causa può essere quella della crescente integrazione tra sistemi di riscaldamento e sistemi di raffrescamento, sia attraverso le pompe di calore reversibili, sia attraverso i sistemi passivi. Un terzo motivo può essere ricercato in una maggiore attenzione verso i Paesi dell'Europa mediterranea, dove il condizionamento sta diventando una necessità, rispetto alla prevalente attenzione verso le condizioni del Nord Europa più considerata in passato.

Giusta attenzione è stata anche posta alle opportunità offerte dalla possibilità di sostanziali risparmi energetici nel riscaldamento, nel raffrescamento e nell'illuminazione, ottenibili con una progettazione intelligente che ottimizzi la tipologia e l'orientamento degli edifici, la scelta dei materiali (in base non solo alla coibentazione ma anche all'inerzia termica), le dimensioni e la disposizione delle finestre (per avere un adeguato equilibrio tra apporti solari al riscaldamento, ventilazione naturale e illuminazione diurna rispetto alle dispersioni termiche), l'adozione di frangisoli fissi o orientabili, l'apporto della vegetazione e dell'acqua ecc. Gli interventi di questo tipo sono maggiormente applicabili, efficaci ed economicamente convenienti quando si realizzano nuovi edifici, ma possono fornire contributi importanti anche nel caso di ristrutturazioni di edifici esistenti. Tutto questo richiede un'adeguata attenzione alle condizioni climatiche locali, non più esprimibili, come avviene tradizionalmente, nei soli "gradi-giorno" (cioè nella somma degli scostamenti giornalieri della temperatura media da quella di riferimento) ma che deve tener conto dell'insolazione, dell'umidità e dei venti prevalenti. Proprio su questo punto di incontrano le prime difficoltà. Infatti, la direttiva richiede che si calcoli il rendimento energetico degli edifici tenendo conto del microclima locale, degli apporti dei sistemi solari passivi, della protezione solare, della ventilazione naturale e dell'illuminazione naturale.

Questo è certamente possibile e non mancano gli strumenti di calcolo da utilizzare ma la valutazione risulta diversa da un sito all'altro, anche se vicini, richiede una disponibilità di dati climatici su scala locale, ed è differente da edificio a edificio, anche tra due edifici identici e vicini, se varia l'orientamento o l'esposizione al sole e al vento. Il calcolo di alcune delle grandezze di interesse (per esempio, la ventilazione naturale e l'illuminazione naturale), non è facile ed è generalmente al di fuori delle conoscenze del progettista. Si tratta di trovare dunque un compromesso accettabile tra la necessità (e l'indubbia opportunità) di tenere conto di questi apporti alla riduzione della domanda di energia di un edificio e la complessità del procedimento di calcolo che ne potrebbe risultare. Una soluzione in questo senso sembra indicata nelle premesse della direttiva che suggerisce agli stati membri di accertare la fattibilità tecnica, ambientale ed economica dei sistemi energetici alternativi *mediante uno studio che indichi un elenco di misure di conservazione dell'energia, per condizioni medie di mercato locale, che soddisfino criteri relativi al rapporto costo/efficacia*⁵. Tale fattibilità va valutata e tenuta presente prima dell'inizio dei lavori di costruzione. È ragionevole pensare che a queste considerazioni di

⁵ Art. 5 della Direttiva Europea 2002/91/CE

fattibilità corrispondano delle variazioni in più del rendimento energetico, valutate con criteri medi ove sia troppo dispendiosa un'analisi dettagliata per il caso specifico. Un'iniziativa in questa direzione, basata su semplice lista di criteri che possono o meno essere rispettati nel progetto, è già da tempo in corso in Olanda su base volontaria.

La prima novità è, quindi, l'estensione della valutazione del rendimento energetico anche al raffrescamento o al condizionamento dell'aria e all'illuminazione.

Un'altra novità di rilievo consiste nell'aver considerato non solo gli edifici di nuova costruzione, ma anche quelli esistenti, purché di metratura superiore ai 1.000 mq che subiscano degli interventi di *ristrutturazione importante*⁶. In sostanza, una ristrutturazione che investa la muratura periferica dell'edificio e/o gli impianti di riscaldamento, condizionamento, ventilazione, illuminazione e produzione di acqua calda di edifici preesistenti fornisce l'occasione per migliorare il loro rendimento energetico. Anche in questo caso, si parla di rendimento energetico integrale e non solo di isolamento termico e di impianti di riscaldamento.

1.2.3 La recente evoluzione della L.10/91

Nell'agosto del 2005, è stato pubblicato il **decreto attuativo** della Legge 10/91 recante *"Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia"*. Il testo integrale del provvedimento è stato promulgato contestualmente alla pubblicazione della direttiva 2002/91, recepita con il D. Lgs. 192/2005 che disciplinava:

- la metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche integrate degli edifici;
- l'applicazione di requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici;
- i criteri generali per la certificazione energetica degli edifici;
- le ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione;
- i criteri per garantire la qualificazione e l'indipendenza degli esperti incaricati della certificazione energetica e delle ispezioni degli impianti;
- la raccolta delle informazioni e delle esperienze, delle elaborazioni e degli studi necessari all'orientamento della politica energetica del settore;

⁶ La ristrutturazione importante viene definita con precisione al punto 13 delle premesse della Direttiva Europea 2002/91/CE.

- la promozione dell'uso razionale dell'energia anche attraverso l'informazione e la sensibilizzazione degli utenti finali, la formazione e l'aggiornamento degli operatori del settore.

Il D. Lgs. 192/2005 è stato successivamente emendato con il D. Lgs. 311/2006 - *Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE*, relativo al rendimento energetico nell'edilizia, nel quale viene introdotto l'obbligo della certificazione energetica anche per gli edifici esistenti in caso di ristrutturazione, demolizione e ricostruzione e in caso di compravendita.

1.2.4 Il D.P.R. 6 marzo 2009 sul D. Lgs 192 del 2005 per il rendimento energetico degli edifici

Questo regolamento stabilisce i criteri generali, la metodologia di calcolo, i requisiti di base relativi alla prestazione energetica degli edifici e degli impianti termici per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda per usi igienico sanitari. Le disposizioni in esso contenute recepiscono la direttiva comunitaria in materia di efficienza energetica definendo le metodologie di calcolo della prestazione energetica degli impianti e degli edifici. Nonostante fin dal 2005 siano state varate diverse normative in materia di rendimenti energetici in edilizia non è ancora completo il recepimento della direttiva comunitaria 2002/91/CE: infatti, ad oggi per poter redigere il certificato energetico degli edifici mancano le linee guida nazionali.

È in preparazione un intero pacchetto normativo relativo alla certificazione energetica degli edifici e sui criteri di accreditamento degli esperti e degli organismi cui affidare la certificazione energetica, che ne assicuri la qualificazione e l'indipendenza.

Con uno o più decreti del Presidente della Repubblica, si dovranno definire:

- i criteri generali, le metodologie di calcolo e i requisiti minimi finalizzati al contenimento dei consumi di energia e al raggiungimento degli obiettivi preposti, tenendo conto di quanto riportato in merito alla destinazione d'uso degli edifici;
- i criteri generali di prestazione energetica per l'edilizia sovvenzionata e convenzionata, nonché per l'edilizia pubblica e privata. Particolare attenzione richiede infatti la ristrutturazione degli edifici esistenti per la quale sono indicate metodologie di calcolo e requisiti minimi finalizzati al raggiungimento degli obiettivi di risparmio ed efficienza energetica.

1.2.5 La delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n. 156/2008

All'interno della Delibera dell'Assemblea Legislativa sono indicate le norme tese a favorire il risparmio energetico, l'uso efficiente delle risorse energetiche, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici, contribuendo a conseguire la limitazione delle emissioni inquinanti e climalteranti. Anche nell'ottica del rispetto degli obiettivi posti dal protocollo di Kyoto, si vuole disciplinare:

- l'applicazione di requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli impianti energetici in essi installati;
- le metodologie per la valutazione della prestazione energetica degli edifici e degli impianti;
- il rilascio dell'attestato di certificazione energetica degli edifici;
- il sistema di accreditamento degli operatori preposti alla certificazione energetica degli edifici;
- l'esercizio e la manutenzione degli edifici e degli impianti;
- il sistema informativo regionale per il monitoraggio della efficienza energetica degli edifici e degli impianti;
- le misure di sostegno e di promozione finalizzate all'incremento dell'efficienza energetica ed alla riduzione delle emissioni climalteranti.

Dal 1° luglio 2008 è entrata in vigore la disposizione che fissa a 70-80Kw il consumo massimo per unità abitativa costruita ex novo o derivante da ristrutturazione totale.

La certificazione degli edifici è obbligatoria per gli edifici interi oggetto di compravendita, da luglio 2009 per le singole unità immobiliari oggetto di compravendita fino alle singole unità immobiliari date in locazione (luglio 2010).

Il provvedimento dispone inoltre l'utilizzo obbligatorio di fonti energetiche rinnovabili: nel caso di edifici di nuova costruzione o di edifici esistenti oggetto di ristrutturazione integrale, l'impianto di produzione dell'energia termica deve essere progettato in modo che almeno il 50% del fabbisogno di acqua calda sanitaria sia coperto da fonti rinnovabili. È inoltre stabilita l'obbligatorietà dell'installazione di impianti a fonti rinnovabili per la produzione di energia elettrica per una potenza non inferiore a 1 kW per unità abitativa. Nel caso in cui non sia possibile rispettare tali disposizioni, il provvedimento regionale individua, come possibilità alternativa, i cosiddetti impianti compensativi come, ad esempio il collegamento ad una rete di teleriscaldamento; l'installazione di impianti di micro-cogenerazione oppure il collegamento ad impianti di fonti rinnovabili comunali.

1.3 Analisi dello stato dell'arte relativo alla problematica ambientale: la situazione internazionale e nazionale

Nella storia dell'uomo, la tecnica, intesa come *technè*, cioè nel senso più ampio che questa parola ha in greco⁷, ha avuto un ruolo decisamente incisivo, fornendogli possibilità ed opportunità spesso inattese. Inizialmente la tecnica in un qualche modo ha liberato l'uomo da vincoli di tipo fisico, ambientale, ponendosi come intermediaria tra l'uomo stesso e la natura, per soddisfare bisogni e necessità. Successivamente la scelta della via della tecnica ha portato all'organizzazione industriale che, a sua volta, ha continuato questo percorso utilizzando la tecnica per nuovi bisogni, indotti soprattutto dalla crescente richiesta di benessere, sia economico che sociale.

La ricerca scientifica e tecnologica è anche chiamata a rispondere degli effetti della tecnica nell'ambito della società, ad indagare sulle possibilità aperte dalle nuove tecnologie, ad interrogarsi e riflettere sull'impostazione del proprio sapere. Si tratta di un processo necessario per non seguire impostare dinamiche di assoluto rigore tecnologico, affidandosi solo ed esclusivamente allo strumento tecnico, senza una previa riflessione e valutazione delle variabili messe in campo; d'altro canto invece si dovrebbe evitare un utilizzo sconsiderato e non regolamentato di concetti puramente teorici.

Le nuove tecnologie di materiali e sistemi offrono, infatti, ampie opportunità per il mantenimento dei requisiti di comfort per la vita dell'uomo, senza andare a discapito delle condizioni ambientali già fortemente compromesse. L'attenzione verso i fattori ambientali esterni all'edificio, inteso come organismo dotato di caratteristiche interagenti con l'ambiente stesso, e la corretta valutazione dei benefici ottenibili con le soluzioni proposte dalla cosiddetta bioclimatica⁸, permetterebbero di includere le specificità locali nel processo progettuale, sfruttando la tecnologia, progettata in modo cosciente attraverso il sapere tecnico, in maniera effettivamente funzionale e vantaggiosa, non solo per il singolo ma anche per la collettività.

Soprattutto nell'ultimo secolo, si è assistito ad un netto cambio di direzione: l'architettura spontanea (o vernacolare⁹), che utilizzava le caratteristiche ambientali e i principi fisici dei materiali da costruzione nella regolazione dei flussi energetici dell'edificio, sia stata sostituita da una gestione delle condizioni interne degli spazi

⁷ Il rapporto dell'uomo col mondo, tradotto nell'elaborazione e la trasmissione di strumenti concettuali e nozioni, di istituzioni e artefatti, che nascono dalla cultura ed entrano a farne parte.

⁸ In questa sede non si entrerà nel merito di una coerente definizione di Bioclimatica, per meriterebbe un'approfondita trattazione.

⁹ Reyner Banham, *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Editori Laterza, Roma, 1995

abitativi fortemente influenzata dal ricorso sempre più massiccio a dotazioni e apparecchiature impiantistiche.

Altro aspetto considerevole riguarda l'intento di realizzare un'architettura internazionale: presupponendo di poter collocare l'edificio in un qualsiasi contesto e con tecniche costruttive indipendenti dall'interazione edificio – ambiente, si è contribuito, come è noto, all'aggravamento della problematica ambientale e della qualità ecologica dei luoghi, criticità che oramai non è più possibile ignorare. A testimonianza di quanto appena affermato, si riportano di seguito, gli estratti di ricerche e rapporti ambientali relativi agli ultimi cinque anni.

1.3.1 Problematiche ambientali

Per far fronte alle problematiche legate al cambiamento climatico planetario non si può prescindere dall'incidenza del settore edilizio (residenziale e terziario) che, per quanto riguarda, ad esempio, l'Unione Europea, è responsabile del 41% dei consumi totali e, dunque, delle emissioni inquinanti che da essi derivano. Nell'ambito del Protocollo di Kyoto, l'UE si è impegnata a conseguire una riduzione delle emissioni di gas serra dell'8%, rispetto al valore registrato nel 1990 e a raddoppiare la quota di energia prodotta da fonti rinnovabili¹⁰ entro quest'anno (2010), inoltre, è stata considerata recentemente anche l'esigenza di sicurezza di approvvigionamento energetico per il futuro¹¹.

Si noti che l'Unione Europea è responsabile del 15% delle emissioni mondiali pur rappresentando solo il 5% della popolazione globale¹². Se ne deduce l'estrema importanza delle strategie in atto per il raggiungimento degli obiettivi di Kyoto, attuate tramite programmi d'azione che prevedono l'adozione di legislazioni in direzione della tutela ecosistemica nei Paesi membri, l'integrazione delle politiche economiche e sociali con le necessità ambientali e la responsabilizzazione delle istituzioni e dei privati rispetto alla problematica annessa. È stata riconosciuta a livello comunitario la necessità di intraprendere azioni efficaci ai fini del contenimento delle emissioni di gas serra che sono strettamente legate ai consumi, alle modalità di produzione e gestione dei comparti produttivi e alle modalità di generazione energetica. Il Protocollo prevede la possibilità di raggiungere gli obiettivi stabiliti, oltre che con misure nazionali, anche attraverso programmi in cooperazione tra più Paesi. A

¹⁰ Commissione Europea, *Energia per il Futuro: Fonti Rinnovabili di Energia – Libro Bianco per una strategia comune a piano di azione*, Bruxelles, 1997

¹¹ Commissione Europea, *Libro Verde – Verso una strategia europea di sicurezza dell'approvvigionamento energetico*, Lussemburgo, 2001

¹² Commissione Europea, *Environment 2010: our future, our choice – The sixth EU Environment action programme 2001-2010*, Ufficio delle pubblicazioni ufficiali delle Comunità europee, Bruxelles, 2001

questo fine sono stati istituiti due meccanismi che consentono di accreditare le riduzioni delle emissioni ottenute attraverso progetti di cooperazione tra Paesi industrializzati. Una modalità si esplica attraverso la diffusione e l'impiego delle tecnologie più efficienti per la generazione di energia (*Joint Implementation*), la seconda per mezzo di progetti di efficienza energetica nei Paesi in via di sviluppo, che non hanno sottoscritto impegni di riduzione, da parte dei Paesi industrializzati, che acquisiscono così dei crediti di emissione (*Development Mechanism*). Il Protocollo prevede, inoltre, la possibilità del commercio delle emissioni tra Paesi industrializzati tramite l'approvazione della direttiva europea 2003/87/EC (EC-ETS) sull'*Emission Trading*. Tale documento mira ad istituire uno strumento di protezione ambientale internazionale, destinato a ridurre le emissioni in maniera efficace in termini di costi, tramite l'istituzione di un mercato europeo dei permessi di emissione tra gli impianti industriali operanti nei settori della generazione termoelettrica. Gli operatori, migliorando l'efficienza dei propri impianti o comprando permessi di emissione da altri, hanno la concessione a emettere quantità di CO₂ prestabilite in base ai crediti concessi. Questi meccanismi sono stati elaborati al fine di consentire all'Unione di adempiere agli obblighi contratti nell'ambito della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change). Anche le iniziative di forestazione concorrono al raggiungimento degli obiettivi grazie alla capacità di assorbimento di CO₂ delle piante¹³.

A questo punto risulta utile, ai fini del presente lavoro, scendere nel dettaglio dei consumi legati al comparto edilizio europeo. Le voci di consumo del settore residenziale sono distribuite in quote del 57% destinate al riscaldamento degli ambienti interni e del 25% per l'approvvigionamento di acqua calda per usi sanitari; nel settore terziario il riscaldamento rappresenta il 52% dei consumi totali, seguito dall'illuminazione artificiale con una quota pari al 14%. Allo scopo di avere una stima sommaria delle quantità in gioco: a livello europeo, per una costruzione convenzionale in media vengono consumati circa 100 – 150 kWh di energia primaria per ogni metro quadrato di superficie utile nell'arco di un anno, di cui 2/3 ascrivibili alle necessità di climatizzazione e 1/3 per i consumi elettrici¹⁴.

L'Italia, a causa delle condizioni climatiche mediterranee più miti rispetto alla media Europea, registra consumi per la residenza e il terziario pari al 32%, mentre, per

¹³ Ministero dell'ambiente e Tutela Del Territorio, Ministero dell'economia e Finanze, Piano Nazionale per la riduzione delle emissioni di gas responsabili dell'effetto serra: 2003-2010, Dicembre 2002

¹⁴ Thomas Herzog, *Solar energy in architecture and urban planning*, Prestel, Monaco-New York, 1996

un'analisi completa della specificità italiana, devono essere considerate le destinazioni finali di tali consumi¹⁵. È da notare, infatti, come la percentuale degli usi elettrici risulti superiore alla media europea, per la maggiore incidenza che in tale contesto assume l'energia necessaria ai fini della climatizzazione estiva.

Per gli edifici residenziali i consumi relativi al riscaldamento interno ammontano al 68,4%, seguiti dalle quote per le apparecchiature di uso domestico (elettrodomestici, condizionatori dell'aria) pari al 14,2%. L'energia assorbita dal terziario, pari al 29,5% del totale destinato al settore civile, viene fornita per il 47% dal gas naturale, per il 12% dai derivati del petrolio, destinati a soddisfare le richieste di riscaldamento, e per il 41% dall'energia elettrica utilizzata per il funzionamento di dispositivi di climatizzazione e illuminazione. Il settore industriale delle costruzioni, infine, risulta essere quello che assorbe più energia degli altri a livello percentuale, con un valore del 21,4%, registrato nel 1999. Per ogni kWh elettrico consumato dall'utenza finale vengono, inoltre, immessi nell'atmosfera 0,66 kg di CO₂ mentre per l'energia termica il valore si attesta su una quota di circa 0,27 kgCO₂/kWh¹⁶.

Considerando la densità del costruito nei contesti urbani è evidente l'enormità della problematica connessa alla sola gestione degli edifici. Risulta evidente, dunque, come l'ambiente costruito ed il settore edilizio siano ambiti di grande impatto, ma anche di grande potenziale per una revisione del rispettivo ruolo e dell'incidenza sulla problematica energetico - ambientale. L'edificio non può più mantenere l'odierno carattere energivoro, ma, per mezzo dei componenti tecnologici che lo costituiscono, deve diventare elemento attivo nella regolazione dei flussi di energia, fino a raggiungere la doppia funzione di produttore/consumatore, in particolare l'involucro, che non può più svolgere la semplice funzione di riparo dalle condizioni esterne aggressive (dispersioni in inverno e surriscaldamento estivo dovuto alla radiazione solare). L'impegno della ricerca in campo tecnologico deve, dunque, essere indirizzato verso la progettazione attenta a questioni ambientali, l'innovazione di componenti d'involucro per il miglioramento delle prestazioni termiche, la produzione di energia con sistemi ad alta efficienza e basso impatto ambientale, l'impiego delle risorse naturali ai fini di una riduzione di fabbisogni (elettrici, termici, illuminotecnici, ecc.) e la produzione di energia rinnovabile, la razionalizzazione di consumi.

¹⁵ ENEA, Rapporto Energia e Ambiente 2001

¹⁶ Ministero dell'Ambiente, Istituto di Ricerche Ambiente Italia, Rapporto AIREs – Ambiente Italia, 1998

Numerosi studi a livello internazionale¹⁷, europeo¹⁸ e italiano, mettono in luce dati preoccupanti in merito alle condizioni climatiche del pianeta Terra e di come queste si stiano lentamente, e talvolta inesorabilmente, modificandolo. Un notevole sfruttamento e uno scorretto consumo di energia di origine fossile – esauribile – l'impiego di sistemi e strutture sempre più energivori, scorrette pratiche nella gestione e manutenzione degli stessi stanno determinando livelli critici di sostenibilità delle condizioni ambientali terrestri.

Da qui parte la sfida per due fondamentali aspetti della società moderna: garantire le risorse energetiche per sostenere la crescita dei Paesi sviluppati e offrire pari opportunità a quelli in via di sviluppo. Governare le azioni che determinano processi accelerati di cambiamento climatico, quelli a prevalente natura antropica, garantendo la protezione dell'ambiente. Questo è quel che si dice: operare per lo sviluppo sostenibile, il fallimento dell'obiettivo potrebbe essere catastrofico. Non sono le tecnologie che mancano per operare con buone pratiche; occorre, in primo luogo, la disponibilità a cambiare comportamenti e a mettere in atto politiche adeguate, tanto chi ha ruoli decisionali quanto ogni singolo cittadino nell'ambito delle proprie abitudini quotidiane.

La popolazione del pianeta, stimata alla fine del secolo scorso in circa 6 miliardi, potrebbe crescere al 2050, secondo una stima media delle Nazioni Unite, fino a 9 miliardi. Tale incremento ed il bisogno di migliorare gli standard di vita della parte più povera comporteranno un forte incremento della domanda di energia. Alcuni scenari proiettano incrementi della domanda globale prossimi al 100% da qui al 2050.

Questa evoluzione pone problemi molto seri. Le risorse energetiche attualmente utilizzate derivano per l'80% da combustibili fossili (petrolio, carbone, gas naturale); il resto da energia nucleare, idraulica e biomasse, in proporzioni più o meno uguali. I combustibili fossili, e lo stesso uranio, sono risorse esauribili. Per il petrolio ed il gas si sono già evidenziati problemi di scarsità, resi più acuti dalla particolare distribuzione geografica delle residue risorse, concentrate in prevalenza, in aree

¹⁷È inequivocabile: il riscaldamento del sistema clima, comprovato dall'aumento delle temperature medie globali dell'atmosfera e degli oceani, dallo scioglimento della neve e del ghiaccio e dall'innalzamento medio globale marino. È molto probabile (probabilità tra il 90-95%) che l'aumento osservato nella temperatura media negli ultimi 50 anni sia dovuto all'aumento delle concentrazioni atmosferiche di gas ad effetto serra". trad. IV IPCC Report Climate Change 2007 - Intergovernmental Panel on Climate Change.

¹⁸ "Il libro verde è nato da una constatazione: la crescita inquietante della dipendenza energetica europea. L'Unione europea è di fatto molto dipendente dall'approvvigionamento esterno. Essa importa oggi il 50% del suo fabbisogno e questa percentuale sfiorerà il 70% nel 2030, con una dipendenza più marcata per gli idrocarburi se le tendenze attuali continuano." LIBRO VERDE Verso una strategia europea di sicurezza dell'approvvigionamento energetico. Commissione Europea – novembre 2000.

politicamente "instabili". Per il petrolio, come peraltro era già stato ampiamente previsto dagli analisti, si sta manifestando un notevole e repentino aumento dei prezzi, con conseguente ripercussione sui tassi di crescita delle nazioni industrializzate e quindi dell'intera economia globale. Stesse dinamiche non tarderanno a manifestarsi anche per il gas. La competizione internazionale in atto, per assicurarsi le risorse che diventano sempre più scarse, tenderà dunque a intensificarsi ed è facile prevedere un rapido accentuarsi dei problemi di approvvigionamento per l'Europa. Il carbone, la risorsa fossile più abbondante, si avvia inevitabilmente ad essere utilizzato in maniera crescente, soprattutto fuori dall'Europa, in aree dove la disponibilità è maggiore e la domanda energetica è in forte crescita (Cina, India, Indonesia, Sud-Africa), con conseguenze che, in assenza di opportuni accorgimenti tecnologici, rischia di compromettere ancora di più l'ambiente; essa è, infatti, quella che a parità di resa energetica produce più anidride carbonica (CO₂).

Il sempre maggiore bisogno di energia, finalizzata alla crescente domanda di beni, sia di natura agricola che manifatturiera, è pressoché unanimemente accettato come il fattore determinante dei cambiamenti climatici; in particolare, con il nuovo rapporto *Climate Change 2007, l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*¹⁹, nel confermare le indicazioni generali già presenti nel precedente rapporto del 2001, innalza dal 66% al 90% la stima dell'incidenza del fattore antropico sull'innalzamento della concentrazione di gas serra in atmosfera.

Le conseguenze economiche già nel medio periodo dei cambiamenti climatici potranno essere estremamente rilevanti: le stime degli analisti indicano tra il 5 e il 20% del prodotto lordo mondiale le risorse economiche che dovranno essere messe in campo per riparare i danni provocati dai nuovi assetti climatici.

Nonostante queste previsioni siano oramai condivise dai più non c'è ancora l'evidenza del cambiamento nelle azioni dei governi e dell'industria, come invece gran parte dei Governi si erano impegnati a fare col cosiddetto Protocollo di Kyoto del 1997.

Come noto, il Protocollo di Kyoto, elaborato nel 1997, è entrato in vigore il 16 febbraio 2005. In esso sono indicati gli obiettivi quantitativi di riduzione dei gas serra per i soli Paesi industrializzati, in base al principio di responsabilità comune ma

¹⁹ L'IPCC è stato costituito nel 1988 dalle Nazioni Unite come organo scientifico di supporto con il compito di valutare - e presentare agli organi decisori - lo stato delle conoscenze scientifiche, tecniche e socioeconomiche su cause e conseguenze dei cambiamenti climatici: <http://www.ipcc.ch/>

differenziata. L'obiettivo aggregato di riduzione per i cosiddetti Paesi Annex B²⁰ era originariamente fissato al 5,2% da conseguire entro il periodo 2008-2012 rispetto all'anno base 1990. Gli Stati Uniti, come noto, non hanno proceduto alla ratifica del Protocollo riducendo l'obiettivo vincolante al 3%.

La complessità del problema energetico, qui brevemente delineato, richiede un approccio complesso, sia d'ambito sopranazionale sia di ambito nazionale e locale, e impone la necessità di sviluppare azioni congiunte in grado di armonizzare le politiche e gli strumenti di intervento dei diversi livelli di competenza, assicurando una massa critica adeguata per affrontare su base cooperativa le attività sul piano della ricerca e dell'innovazione tecnologica.

1.3.2 Prospettive in Europa

L'Unione Europea ha recentemente varato una serie di provvedimenti che fissano in modo vincolante il percorso che si intende intraprendere, da qui al 2020, per contrastare gli effetti sul clima dell'attuale livello di consumo energetico: almeno il 20% dell'energia primaria dovrà essere prodotta con fonti rinnovabili, le emissioni in atmosfera dovranno essere ridotte di un altro 20% e ancora un 20% è il risparmio di energia che si intende ottenere soprattutto attraverso un ampio recupero di efficienza energetica. Si tratta di misure che incideranno notevolmente sul modo di produrre e consumare energia e che costituiranno per diversi paesi dell'Unione, Italia compresa, una grande sfida per la competitività della propria economia. L'auspicio è quello di dare avvio ad una *“nuova rivoluzione industriale che acceleri la transizione verso una crescita a basse emissioni di carbonio e producendo, nel corso degli anni, un aumento spettacolare della quantità di energia locale a basse emissioni prodotta ed utilizzata. La sfida consiste nel farlo in un modo che ottimizzi gli incrementi di competitività potenziali per l'Europa e limiti i potenziali costi”*. La Commissione stima il potenziale globale di risparmio energetico nei principali settori di uso finale in percentuali comprese tra il 25% e il 30% e definisce un quadro di interventi incentrato sull'obiettivo di riduzione degli “sprechi per inefficienza” che vengono valutati nella misura di oltre il 20% dei consumi totali dell'Europa²¹.

Il Consiglio del 9 marzo 2007 ha individuato cinque settori attraverso i quali conseguire i risparmi: un'azione sui trasporti, l'introduzione di requisiti minimi nelle apparecchiature energetiche, la sensibilizzazione verso comportamenti virtuosi in

²⁰ Sono 39 paesi industrializzati che hanno obblighi di riduzione secondo il protocollo di Kyoto e sono indicati nel suo Annex B. Le riduzioni indicate per il periodo 2008-2012 variano da una diminuzione dell'8%, target per l'Europa, a un aumento del 10% (Islanda) rispetto alle emissioni del 1990.

²¹ “Piano d'azione per l'efficienza energetica” www.eurlex.europa.eu

tema di consumi, un maggiore ricorso a tecnologia ed innovazione e una maggiore attenzione all'efficienza nell'edilizia. Altro obiettivo prioritario è quello di rilanciare una politica rivolta allo sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.

1.3.3 Situazione italiana

Per l'Italia l'obiettivo di riduzione delle emissioni di gas serra, da realizzarsi entro il 2012, è stato fissato al 6,5% rispetto ai livelli del 1990. In realtà nel contesto nazionale le emissioni, invece di diminuire, sono aumentate del 13%, portando a circa il 20% la riduzione da realizzarsi da oggi al 2012. Gli aumenti più consistenti di emissioni hanno riguardato i trasporti (+27,5%) e la produzione di energia termoelettrica (+17%).

È stato calcolato che per conseguire questi obiettivi si dovrebbe realizzare una riduzione del consumo di combustibili fossili tra il 15 e il 20%, con una conseguente riduzione della fattura energetica per il Paese di circa 5-7 miliardi di euro per anno. Viceversa, il mancato raggiungimento dell'obiettivo comporterebbe per l'Italia, stante la situazione attuale, un esborso di 1,5 miliardi di euro l'anno, fra acquisti di diritti di emissioni e progetti di cooperazione per realizzare tali riduzioni all'estero.

Sempre dal Rapporto Energia Ambiente 2006 dell'ENEA, per l'Italia emerge ancora una volta che l'aumento della domanda di energia riguarda soprattutto i settori residenziale e terziario ed è causato essenzialmente da fattori climatici (figg. 13 - 14). In particolare nel 2003 tali consumi sono aumentati in maniera sostenuta con un incremento sia dei consumi di gas per il riscaldamento ambientale, sia dei consumi elettrici per la climatizzazione estiva.

Significativo è, inoltre, per l'Italia quello dell'intensità energetica. Fino alla fine degli anni 90 i valori dell'intensità energetica finale erano più bassi della media dei Paesi dell'Unione Europea, avvicinandosi solo recentemente a tali valori. Alcuni Paesi del Nord Europa (Danimarca, Germania, Svezia, Finlandia, Gran Bretagna) hanno diminuito notevolmente le loro intensità energetiche. Altri, come Spagna e Portogallo, che partivano da livelli di intensità energetica più bassi della media, hanno invece dei trend in crescita.

Il confronto con la situazione europea mostra un'Italia che progressivamente sta riducendo il beneficio derivante da una posizione iniziale favorevole in termini di intensità energetiche, e che negli ultimi anni non riesce a seguire il passo della maggior parte dei Paesi europei che, pur in presenza di una maggiore crescita economica, hanno ridotto notevolmente le loro intensità energetiche. In Italia, dopo almeno due decenni (dal 1975 al 1995) in cui la crescita economica ha mostrato tassi di variazione molto superiori a quelli energetici, negli ultimi anni il trend sembra

essersi invertito, con tassi di variazione del PIL minori (se non addirittura di segno negativo) rispetto a quelli dei consumi energetici. I consumi di energia, malgrado il forte rallentamento del PIL registrato nel 2005, sono complessivamente in ascesa e sembrano trainati soprattutto dalle variazioni registrate nei consumi energetici elettrici e di gas naturale del settore civile, sia terziario che residenziale.

Il Libro Bianco²² del 2004 riporta dati di una ricerca dalla quale risulta che, in termini primari, sommando produzione e gestione, il sistema degli edifici è responsabile di circa il 45% del fabbisogno energetico nazionale. Inoltre, mentre il totale nazionale mostra tassi d'aumento minori dell'1% annuo, il settore civile, a causa della progressiva crescita della sua percentuale elettrica, aumenta i propri consumi primari, e le relative emissioni, del 2% annuo. Questo gap è dovuto in buona parte ad una crescente e non governata diffusione del condizionamento estivo, realizzato con macchine a compressore elettrico, in edifici abitativi il cui involucro è privo di isolamento termico.

In questo ambito, la Direttiva Europea 2002/91/CE ha determinato una svolta, innanzitutto a livello internazionale, in quanto si è posta come obiettivo quello di ridurre le differenze tra le normative dei paesi comunitari. Inoltre a livello nazionale ha ispirato i DD. Lgs. 192/2005 e 311/2006, che hanno introdotto lo strumento della certificazione energetica degli edifici. Tale certificazione prevede requisiti energetici obbligatori da adottare per migliorare le prestazioni del sistema edificio, con conseguente riduzione dei costi di gestione.

In particolare il D.Lgs 311/2006 consente di recepire più adeguatamente la DE 2002/91/CE, innalzando notevolmente l'efficienza energetica, mediante l'introduzione più restrittiva di valori limite dei coefficienti di trasmittanza. Considerazioni come questa sono valide sia per le nuove costruzioni sia per il recupero dell'esistente, che in Italia risulta spesso particolarmente inefficiente²³. Tale riduzione non rappresenta solo una scelta dettata dalle normative ma anche una soluzione per migliorare la qualità ambientale e tecnologica dell'edificio, consentendo una riduzione dei consumi energetici e un innalzamento del comfort indoor.

Va inoltre evidenziato che, parlando di costo energetico delle costruzioni, le maggiori problematiche risultano dall'edificato esistente, sia quello antecedente il 1976 (anno di avvio delle normative previste dalla Legge 373/76 sul contenimento energetico,

²² Libro Bianco Energia – Ambiente – Edificio, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, F.IN.CO ENEA Febbraio 2004.

²³ "Il tema del riscaldamento invernale, regolato dalla L. 373/76 e dalla successiva L. 10/91 è di notevole importanza. Si tratta di leggi valide, ma la L. 10 è in gran parte inapplicata in quanto non sono stati emessi molti dei regolamenti di attuazione previsti, e soprattutto 2/3 del parco edilizio nazionale è di costruzione precedente alla L. 373." *ibidem*

come già accennato) sia, anche se con problematiche inferiori, quello edificato successivamente, almeno fino al 1991 (anno di avvio delle normative previste dalla Legge 10/91). Non potrà esserci efficacia nell'azione di contenimento energetico negli edifici, residenziali, industriali o di quelli dedicati ai servizi, se non ci sarà la possibilità di intervenire significativamente e sostanzialmente in questa parte del patrimonio immobiliare nazionale.

1.4 Problemi e criticità individuati nell'analisi dello stato dell'arte

1.4.1 Individuazione delle criticità delle soluzioni presenti

Come descritto nel primo paragrafo del presente capitolo, negli ultimi anni la ricerca sull'involucro evoluto ha subito notevoli cambiamenti in merito alla propria definizione e al proprio ambito, ampliando significativamente il campo di indagine. All'interno di questo vasto ambito, la ricerca si pone come studio di maggior dettaglio di ipotesi formulate ma non verificate e di individuazione e definizione di alcuni aspetti carenti dello stato dell'arte fino a qui descritto, sia nell'ambito di ricerca che nel mercato.

Questi aspetti riguardano:

- una completa e coerente formulazione delle famiglie di involucro. Negli studi precedenti, venivano individuate quattro famiglie di involucro (trasparente su trasparente, trasparente su opaco, opaco su opaco e traslucido su opaco) invece di cinque. A seguito di una cospicua schedatura nazionale ed internazionale, si è ritenuto necessario modificare e dettagliare maggiormente la classificazione (vedi paragrafo 4.1.4), eliminando, ad esempio, il sottosistema di definizione relativo alla direzione di ventilazione, che, a seguito dell'introduzione di materiali traslucidi discontinui, non può essere più considerato come un elemento caratterizzante di tutte le famiglie di involucro;
- la definizione dei fattori interni ed esterni e la descrizione dei fenomeni fisici correlati aveva raggiunto un buon livello descrittivo di dettaglio principalmente per la famiglia di involucro trasparente su trasparente; per le altre famiglie le indicazioni erano di carattere generico e talvolta assenti (vedi paragrafi 3.1 e 3.2); si è ritenuto inoltre importante tentare di parametrizzare i fenomeni fisici innescati in relazione alla specifica famiglia di involucro (vedi paragrafi 4.2);
- l'analisi dei requisiti e delle prestazioni necessitava di una più puntuale revisione, in funzione di una trattazione specifica più aderente alla normativa (per esempio per il calcolo del fabbisogno energetico per irraggiamento e convezione, nella situazione estiva ed invernale per le

famiglie di involucro individuate) e agli strumenti urbanistici vigenti (per esempio regolamenti urbanistici edilizi); tali aspetti venivano descritti come elementi significativi per la progettazione degli involucri evoluti, ponendo però l'attenzione sull'importanza del concetto e non ancora sulla determinazione di parametri progettuali concreti (vedi paragrafi 3.4);

- la formulazione delle ipotesi e dei modelli precedentemente individuati era stata verificata tramite rilevazioni su un involucro realizzato e funzionante a Imola, in provincia di Bologna. Si trattava di una doppia pelle vetro-vetro costituita da una pelle esterna in semplici infissi e una interna con infisso a taglio termico. Tale rilevazione ha fornito il punto di partenza per una ulteriore verifica, anche con il supporto di studi e ricerca a livello nazionale ed europeo (vedi paragrafi 6.1).

1.4.2 Individuazione delle criticità costruttive, economiche e normative

La composizione di un involucro a comportamento dinamico si concretizza, nella quasi totalità delle soluzioni possibili, attraverso l'accostamento di strati e pelli aventi caratteristiche diverse. Tale composizione, pertanto, può incontrare limiti o vincoli, più o meno evidenti, che si manifestano sostanzialmente nella fase del progetto esecutivo.

All'interno del complesso sistema di soluzioni costruttive che contemplano l'impiego di involucri evoluti a comportamento dinamico, si possono classificare le criticità di interfaccia in criticità costruttive ed economiche e regolamentari.

Criticità costruttive

Originate dalla diversa natura dei materiali che vengono messi in relazione all'interno dell'involucro, sono criticità prevalentemente legate alle sollecitazioni di origine termica e meccanica che si possono manifestare quando vengono uniti, collegati o affiancati materiali fisicamente differenti tra loro.

Al fine di risolverle si rende necessaria un'accurata valutazione dei materiali che si intendono adottare, contemplando anche l'eventualità di dover rinunciare all'impiego di determinate soluzioni dopo aver appurato una mancanza di compatibilità tra i componenti che le costituiscono. Per altre soluzioni, invece, può risultare sufficiente l'adozione di strati o giunti di separazione, oppure un completo distacco, atto a rendere i materiali fisicamente e strutturalmente indipendenti tra loro.

Talvolta sono indotte dall'assenza di componenti che hanno la funzione di connettere correttamente gli strati o le pelli tra loro al fine di comporre l'involucro nel suo insieme. Nell'adozione di pelli non industrialmente allestite per essere affiancate o

integrate (ad esempio una pelle sostenuta da un'altra pelle) possono risultare mancanti tutti quei componenti meccanici atti a consentire l'integrazione costruttiva del sistema.

Infine possono essere indotte dalla mancanza di dispositivi atti a completare l'involucro al fine di innescare specifici fenomeni fisici ed ottenere così le prestazioni dinamiche richieste. In generale, la presenza di tali criticità è originata dalla necessità di affiancare soluzioni commerciali provenienti da settori ed aziende diversi; soluzioni spesso fini a se stesse, ovvero realizzate per essere posate individualmente e non già progettate e prodotte per essere completate con altre. Le operazioni che devono, pertanto, essere sviluppate non prevedono solamente una valutazione di compatibilità, ma spesso necessitano anche di ulteriori attività di integrazione, ottenute attraverso l'applicazione di componenti aggiuntivi da ricercare all'interno dell'ampio panorama della componentistica edilizia ed industriale.

Nella fase progettuale, è inevitabile la presenza di più figure professionali, dal progettista incaricato dell'assetto funzionale e compositivo dell'involucro, ai tecnici specializzati nel precisare puntualmente gli elementi che la compongono, agli impiantisti che devono definire e calibrare le tecnologie per la climatizzazione.

Criticità economiche e di compatibilità con i vigenti strumenti regolamentari e con la prassi progettuale

La progettazione esecutiva richiede competenze specifiche, soprattutto in ambito fisico-tecnico, per la necessaria determinazione e valutazione del comportamento dell'involucro in condizioni di esercizio. Questa attività rappresenta, quindi, un fattore economico importante in fase progettuale, a causa della partecipazione di figure professionali esperte. Tali figure, in Italia, sono oggi da ricercarsi quasi esclusivamente all'interno del settore della produzione dei sistemi a doppia pelle: si tratta di soluzioni fondamentalmente vetrate, non ancora del tutto note, ma sicuramente più diffuse. Alcune aziende produttrici sono in grado di affiancare i progettisti, fin dalle prime fasi del progetto dell'edificio, nell'elaborazione della più adeguata soluzione tecnologica di facciata. Ciò, ovviamente, comporta un incremento dei costi di progettazione; costi normalmente trasferiti all'interno del prezzo di vendita dell'involucro. Queste spese non sono oggi evitabili, a causa dell'indispensabile verifica prestazionale da compiere per ogni progetto, unico nel suo genere per le specifiche caratteristiche ambientali, interne ed esterne, che caratterizzano ogni singolo intervento.

I costi di costruzione rappresentano la voce economica che influisce in misura maggiore sulla definizione dei costi complessivi. Gli elementi e i fattori che concorrono nel determinare la voce dei costi di costruzione sono molteplici e non possono essere banalmente ridotti alla valutazione di un raddoppiamento

dell'involucro. Tale considerazione è desumibile da una semplice analisi della conformazione fisica del sistema che non risulta costituito esclusivamente dai due pelli ma anche da una serie di elementi tecnici complementari.

La relazione con i vigenti strumenti regolamentari è duplice: da un lato fornisce un significativo input per l'applicazione di sistemi di involucri come quelli presi in esame; dall'altro costituisce anche un freno alla realizzazione degli stessi. Gli aspetti sono vari: il primo, ma forse anche più vago, è relativo al parere della Commissione Edilizia Comunale, che spesso non ha gli strumenti scientifici e conoscitivi per una coerente valutazione delle soluzioni proposte. Si tratta poi di un problema dimensionale: l'introduzione di una seconda pelle fa lievitare lo spessore della muratura, incidendo in tal modo, spesso, sulle reciproche distanze tra gli edifici presenti nel tessuto urbanizzato. Alcune Pubbliche Amministrazioni, particolarmente lungimiranti, hanno consentito deroghe nel caso di applicazioni di involucro volti alla riqualificazione energetica: questo però non è sempre sufficiente. Inoltre, soprattutto per il residenziale, vi sono particolari restrizioni relative principalmente all'aspetto igienico – sanitario.

La prassi progettuale considera marginalmente queste soluzioni: si tratta di tecnologie riconosciute efficienti e di valore, ma che richiedono delle competenze e una preparazione, sia teorica che pratica, approfondita. Tale valutazione prevede anche l'esame delle opportunità e delle problematiche indotte dall'applicazione di una simile facciata in relazione ad aspetti di ordine culturale che sono in essere nell'ambito italiano. L'importanza di questa analisi è data dall'assunto che, in generale, l'applicabilità di una nuova tecnologia non è vincolata solamente al valore del sistema costruttivo, in termini di corretto funzionamento e vantaggio economico, ma risente sensibilmente anche di una serie di fattori legati alle tendenze della società in cui essa viene inserita. È però vero che, la committenza è più sensibile alla questione ambientale, pretendendo talvolta l'impiego di soluzioni altamente performanti nell'ambito energetico – ambientale. Accanto all'aspetto economico, si evidenzia così una diffusa disattenzione da parte della classe dei professionisti.

L'involucro evoluto a comportamento dinamico, per i materiali con cui è realizzata e per i principi che regolano il suo funzionamento, induce alla riflessione su una serie di aspetti, anche molto diversi tra loro, accomunati dal presupposto generale che ciò che li disciplina è il valore che viene loro assegnato dalle figure che operano all'interno processo edilizio (come si è detto, prima fra tutte l'utenza). La presente ricerca indaga tali aspetti e tenta di fornire indirizzi per la risoluzione degli stessi.

2

Capitolo 2 – Metodologia di indagine: definizione di un approccio per l'analisi delle criticità individuate e delle soluzioni proposte

2.1 Verso un approccio non lineare

2.1.1 Analisi energetica - ambientale

2.1.2 Analisi tipologica e della prassi progettuale

2.1.3 Analisi economica

2.2 Indicazione sul livello di applicabilità della ricerca: dato qualitativo e quantitativo

2.1 Verso un approccio non lineare

"Fra i diversi - e i moderni - fondamenti delle discipline tecnologiche per l'architettura (gli assunti logico-metodologici di processo edilizio, la filosofia esigenziale - prestazionale, ecc.), l'approccio sistemi alle attività analitiche, tecnico progettuali, di controllo e gestione, ecc. rappresenta il novero dei contributi massimamente ispirati a finalità ordinatrici delle molteplici fenomenologie di scenario, e insieme, a obiettivi di governo delle stesse. Ancorché sussistenti (o impliciti) nelle diverse epoche della storia del costruire, riferimento di tipo sistemico validano soprattutto gli assunti regolatori degli sviluppi della produzione edilizia secondo logiche industriali e tardo-industriali (nonostante talora possa riscontrarsi una relativa consapevolezza circa la sostanziale immanenza dei primi in quest'ultime)¹".

Questo capitolo vuole fornire le chiavi di lettura per questo tipo di approccio sistemico: il problema scientifico è stato affrontato sull'analisi di diversi aspetti: energetico – ambientale, tipologico – costruttivo ed economico.

Di seguito si forniscono indicazioni circa la linea, gli obiettivi e le finalità seguite in ogni ambito.

2.1.1 Analisi energetica - ambientale

La prima definizione di sviluppo sostenibile si trova all'interno del Rapporto Bruntland del 1987, messo a punto dalla World Commission on Environment and Development, su incarico delle Nazioni Unite, con l'obiettivo di fornire elementi e strumenti che favoriscano lo sviluppo sociale ed economico in un contesto di compatibilità ambientale. Nella circostanza, si definì sostenibile quello *sviluppo teso al soddisfacimento dei bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di raggiungere i loro propri obiettivi*. La protezione e difesa dell'ambiente non viene più considerata un ostacolo allo sviluppo, ma come condizione necessaria affinché esso sia duraturo. Ai fini della presente ricerca ci si è posti l'obiettivo di definire quale sia la connessione tra architettura e sostenibilità ambientale. Il prodotto architettonico, in ogni sua forma, deriva strettamente dall'evoluzione tecnologica che l'uomo ha dato e continua a dare in direzione dell'adeguamento alle caratteristiche ambientali: per la realizzazione di oggetti in grado di rispondere alla crescente richiesta di confort che il progresso induce è necessario introdurre differenziazioni significative tra i diversi contesti ambientali. Questo processo di rimodellazione dell'ambiente avviene, principalmente, attraverso l'impiego di soluzioni di carattere strutturale ed energetico. Oltre all'evoluzione delle

¹ Di Battista V., Giallocosta G., Minati G., *Architettura e approccio sistemico*, Polimetrica, Milano, 2006



Figura 2.1 Cambiamenti negli standard d'isolamento dal 1984 al 2000; in ordinata il calore specifico in kWh/m²a; in ascissa i valori standard di isolamento (1984, 1995, 2000 ed edificio passivo).

tecniche costruttive dell'involucro edilizio (fig. 2.1) è importante comprendere il rapporto che intercorre tra i sistemi di controllo ambientale e l'oggetto architettonico, nell'ottica della ricerca di una sempre maggiore qualità abitativa declinata come ricerca di maggior comfort del microclima interno. Detto con Reyner Banham² l'uomo, tramite il mezzo tecnico, ha plasmato l'ambiente per mezzo di due approcci molto diversi concettualmente, e definibili come costruttivo ed energetico. L'ambito costruttivo (*conservativo - selettivo o naturale*) coniuga la difesa e la selezione ambientale prevalentemente come un insieme di sistemi statici e stabili, costituiti dalle parti strutturali dell'edificio, dall'involucro e dalla sua distribuzione funzionale. Questa modalità di controllo ambientale viene definita naturale o passiva. L'ambito energetico (*rigenerativo o artificiale*), finalizzato al mantenimento delle condizioni di comfort, si esplicita con l'impiego di risorse che necessitano di un costante rinnovamento, sistemi più dinamici che permettono maggior flessibilità nel controllo ambientale e che possono essere definiti appunto energetici. L'evoluzione delle tecnologie edilizie è stata profondamente condizionata dai fattori al contorno presenti nei contesti di sviluppo delle tecnologie stesse, e in parte ove ancora continua a svilupparsi, nonostante la globalizzazione delle produzioni e l'omologazione delle culture. Sono forti le connessioni tra tecnologie adottate e fattori condizionanti: situazioni ambientali, struttura sociale, insediativa e cultura locale. Nell'ambito socio-ambientale occidentale sono stati impiegati i sistemi conservativo - selettivi, sempre più integrati con elementi o impianti con funzione di filtro dei fattori ambientali (luce, aria, suono, calore), a protezione dagli agenti esterni e per l'incremento del comfort abitativo. Queste soluzioni hanno portato da un lato ad una nuova flessibilità dei modelli costruttivi, dall'altro ad un sempre maggiore ricorso all'impiantistica, per giungere alla totale sconnessione dalle tecniche tradizionali dal contesto, come sostenuto nei principi dell'*International Style* (*un solo edificio per tutte le nazioni e i climi*³).

Dopo il secondo conflitto mondiale, la crescita economica e l'evoluzione tecnologica hanno favorito una consistente innovazione costruttiva, formale e tecnologica: quest'ultima, in particolare, ha indotto all'abbandono del controllo del confort ambientale mediante le strutture massive e l'introduzione di sistemi ad alto consumo di combustibile. Si è delegata la funzione di generare il confort ambientale alla tecnologia basata sul consumo, in particolare, di combustibili fossili non rinnovabili. La consapevolezza che le costruzioni debbano trovare un naturale equilibrio energetico con l'ambiente, senza dissipare le risorse energetiche del pianeta, si sta

² Reyner Banham, *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Editori Laterza, Roma, 1995

³ Le Corbusier, *Précisions*, Parigi, 1930

diffondendo sempre più, anche se la piena coscienza di tale necessità non è ancora sufficientemente radicata in maniera diffusa.

Ancora oggi, in gran parte delle esistenti costruzioni, gli impianti sono considerati, formalmente, come un elemento strettamente funzionale, e quindi da occultare. Questa cultura ha caratterizzato la quasi totalità della produzione moderna, soprattutto contemporanea; solo in alcuni casi all'elemento tecnico si è inteso dare il significativo di un nuovo linguaggio formale e plastico, come ad esempio nell'High Tech.

Risulta, tuttavia, più interessante l'effettiva capacità di sfruttamento dei flussi energetici (luce, calore, aria, suono) all'interno del progetto tecnologico a prescindere dal sistema impiantistico. Dai primi esempi di edifici *tecnologizzati* concepiti morfologicamente come sistemi di captazione dell'energia solare, si è passati alla realizzazione di edifici definiti passivi e solarizzati. I primi intendono perseguire l'integrazione costruzione/confort ambientale attraverso gli apporti naturali del sole tramite l'impiego di materiali e scelte formali consone all'ambiente nel quale sono realizzate; i secondi concepiscono l'edificio come una macchina complessa che integra forma e tecnologia sia dal punto di vista morfologico che da quello tecnologico, impiegando a fini formali dispositivi capaci di captare e trasformare l'energia solare in elettricità e calore per le necessità funzionali e di confort abitativo.

Ma anche queste sono condizioni transitorie: evolvono le tecnologie, le conoscenze e di conseguenza devono evolvere, necessariamente, anche le relazioni uomo ambiente. Oggi non è più sufficiente pensare alle costruzioni come elementi materialmente amorfi: si ricercano le soluzioni per arrivare all'*edificio intelligente*. I nuovi scenari che si aprono in ambito tecnologico sono finalizzati al risparmio energetico ottenuto mediante il controllo dinamico dei fattori ambientali e dei flussi termici e luminosi, governati da un complesso sistema impiantistico capace di garantire condizioni di confort interno al variare delle condizioni ambientali prevalentemente attraverso l'impiego di sistemi dinamici di controllo e gestione delle condizioni microclimatiche interne.

In quest'ottica di rinnovamento della pratica costruttiva, risulta comunque necessario procedere con un impiego consapevole dell'innovazione tecnologica, i cui prodotti vengano integrati nel processo progettuale, rimodulandone le istanze e contribuendo a formulare prodotti che siano in grado di armonizzare, in un unico insieme, aspetti formali e tecnologici. Il progettista deve, quindi, operare scelte basate sia sulla conoscenza delle più opportune tecnologie da impiegare, in ragione delle necessità funzionali alle quali deve dare risposte, sia in ragione delle tradizioni territoriali locali che inevitabilmente e necessariamente devono correlare l'intervento al contesto nel

quale viene calato. Le caratteristiche locali sono un patrimonio che entra come vincolo nel processo di progettazione, ma come tale, se correttamente interpretato, non può che tradursi in valore aggiunto sul prodotto finito. Tale valore può trovare ulteriori elementi di qualificazione nella ricerca della sostenibilità tra le necessità tecnologiche e ambientali, ed in particolare nella consapevolezza che è ormai indifferibile la scelta di impiegare nuove tipologie tecniche a più alto rendimento ed a minor dispendio di risorse energetiche non rinnovabili e ricorrere, in maniera consistente e convinta, a risorse rinnovabili. Un apporto energetico integrativo per le necessità funzionali delle costruzioni è imprescindibile per mitigare o superare le condizioni ambientali che generano disagio psico-fisico nelle persone ed al quale gli edifici non riescono a rispondere. A tal fine occorre integrare struttura e impiantistica impiegando un complesso di dispositivi *environmentally conscious* che non compromettono la qualità formale e funzionale delle costruzioni, garantendone, al contempo, il comfort abitativo. È tramite una visione unitaria e complessiva, anche se necessariamente dinamica, che si sfrutta l'effettivo potenziale di trasformazione sostenibile: per rendere compatibile l'ambiente antropizzato ed i sistemi naturali, l'architettura deve costituire l'anello di congiunzione tra natura e tecnologia in grado di promuovere l'uso intelligente delle energie naturali disponibili con i sistemi tecnici più avanzati⁴.

L'affermarsi di questi concetti accompagnato ad una insufficiente conoscenza generalizzata provoca equivoci, a volte anche strumentalmente indotti: anche nella letteratura recente, gli involucri definiti ed indicati come altamente performanti e sostenibili non sempre vengano descritti facendo puntuale riferimento ai dati prestazionali relativi all'efficienza ed al costo energetico ed alle ricadute ambientali. A volte una singola prestazione, quale il corretto orientamento o l'installazione di un impianto solare, diventano elementi qualificanti per cui si ritiene legittimo affermare che si tratta di una costruzione improntata ai principi della sostenibilità. In altri casi, l'utilizzo di determinate tecnologie, come la doppia pelle o altre soluzioni tecniche relative alla coibentazione delle chiusure esterne, dalla più semplice alla più evoluta, vengono considerate come paradigmatiche per poter definire a priori la sostenibilità del costruito.

Il risparmio e l'efficienza energetica sono diventati argomento molto controverso nel dibattito degli ultimi decenni, un argomento largamente e diffusamente interpretato nel dibattito architettonico. Il concetto non risulta però ancora né definito né condiviso, a causa della complessità di fattori e conseguenze che implica e

⁴ Rafael Serra Florensa, Helena Coch Roura, *L'energia nel progetto di architettura*, CittàStudi Edizioni, Milano, 1997

presuppone. L'architetto Thomas Herzog, ricercatore in questo campo, ha realizzato significativi interventi dall'elevato livello di innovazione tecnologica e si è interrogato sulla responsabilità degli operatori del settore e sull'impatto ambientale del settore edile: *la sostenibilità è da qualche anno un'immagine latente che si staglia nell'orizzonte del dibattito architettonico contemporaneo. La maggior parte dei progettisti la considera come un dato acquisito di cui si ha una conoscenza implicita e diffusa. [...] Come architetti e progettisti siamo responsabili del fatto che circa il 40% dell'energia primaria impiegata nel mondo viene consumata nel funzionamento termico degli edifici. Siamo anche responsabili dei volumi di traffico risultanti dalla pianificazione urbanistica. La sostenibilità gioca un ruolo importante in diversi aspetti della vita di un edificio: nella selezione dei materiali da costruzione, nella quantità di energia necessaria per la loro lavorazione ed il trasporto, nei diversi processi edilizi, nell'efficienza termica, nella durata, nella manutenzione, nella flessibilità, nella adattabilità alle nuove tecnologie, nel grado in cui si pone nel processo di assemblaggio, smontaggio e riassetto e quindi nelle possibilità di riciclo dei suoi componenti e soprattutto nel grado in cui esso offre l'opportunità di sfruttare l'energia solare per il riscaldamento, il raffrescamento, la ventilazione, l'illuminazione naturale e la generazione di energia elettrica⁵.*

È dunque attraverso una rilettura del costruito per mezzo del filtro, parziale ma significativo, dell'analisi energetico - ambientale, che si cercherà, in questo studio, di comprendere la validità e l'applicabilità delle tecnologie edilizie che sono e che possono essere applicate come soluzioni di involucro a doppia pelle, ai fini del raggiungimento di soluzioni effettivamente caratterizzate dal risparmio energetico e dalla riduzione dell'impatto ambientale.

Sono già numerosi gli edifici contemporanei progettati e realizzati, soprattutto a livello internazionale, con sistemi che integrano formalismo architettonico e soluzioni tecnologiche innovative di tipo dinamico, finalizzati all'ottenimento di effetti positivi, sia per quanto riguarda la qualità energetica, sia per la qualità architettonica. Molti edifici progettati su queste basi rappresentano punti di riferimento da analizzare e valutare al fine di procedere verso un rinnovato modo di intendere l'organismo architettonico, caratterizzato da una forte attenzione per l'ambiente, il contesto e l'innovazione tecnologica che la ricerca rende via via disponibile, sia per quanto riguarda i materiali sia per quanto riguarda i componenti. Si tratta, tuttavia, di prototipi la cui ripetitività, in termini di prestazioni, non può essere garantita. Risulta comunemente assunta come assiomatica la condizione per la quale strumenti e

⁵ Herzog, T., "Abbastanza sostenibile? Progetto per un ministero", *L'Architettura Naturale* 18, EdicomEdizioni, 2003

tecnologie impiegate efficacemente in contesti diversi producono prestazioni non omogenee. Si opera, infatti, in un contesto internazionale che non presenta pari livelli né di conoscenze né di standardizzazione; risulta perciò difficile e frammentaria la possibilità di fornire un quadro di riferimento univoco. Nel presente lavoro, durante la raccolta dei casi *best practice*, per la composizione della parte conoscitiva di base dell'argomento, si è ritenuto utile focalizzare l'attenzione su involucri che siano stati concepiti come soluzioni altamente performanti ed in ragione di principi adattativi alle condizioni al contorno come elemento forte e caratterizzante della ricerca progettuale, al fine di analizzare i presupposti che hanno portato a quelle specifiche scelte tecnologiche.

2.1.2 Analisi tipologica e della prassi progettuale

L'edilizia residenziale costituisce una delle maggiori fonti di consumo energetico dell'intero pianeta. Un uso incondizionato degli impianti e scarse qualità prestazionali dell'involucro di chiusura rappresentano le cause di queste performance negative. Sono in particolare gli edifici costruiti nel secondo dopoguerra quelli maggiormente responsabili, concepiti e realizzati con l'impiego di tecnologie relativamente semplici e di scarsa qualità: si tratta di edilizia caratterizzata da involucri che presentano elevate dispersioni termiche, non in grado di sfruttare le risorse climatiche. Le caratteristiche materiche e tecnologiche dell'involucro costituiscono un parametro fondamentale per l'analisi e la conseguente valutazione degli edifici quali: le caratteristiche degli elementi di partizione esterna ed i concetti di massa e inerzia termica ad essi connessi, l'orientamento e la posizione delle aperture e le proprietà termiche e solari. Questi fattori risultano necessari alla comprensione delle condizioni che determinano il controllo della luce e della ventilazione naturale, la distribuzione del calore e molte altre proprietà fisico-tecniche che intervengono negli scambi energetici tra interno ed esterno. Un edificio leggero, ad esempio del tipo a struttura metallica con tamponamento in pannelli sandwich (fig.2.2), avrà un piccolo potenziale di inerzia termica, così la sua temperatura interna sarà condizionata da quella esterna in misura molto marcata. Un edificio pesante invece, con pareti esterne costituite da materiali ad elevata densità materica, avrà la proprietà di utilizzare la sua massa per rallentare la trasmittanza termica e funzionare da volano termico tra esterno ed interno, potendo cedere il calore accumulato (di giorno) quando all'interno la temperatura scende (di notte) e viceversa. Le caratteristiche ed il tipo di involucro da solo non possono rappresentare la variabile dalla quale far discendere la tecnologia da adottare: ogni scelta progettuale dovrà essere valutata principalmente in funzione delle condizioni di contesto ambientale nel quale saranno



Figura 2.2 Fase di montaggio di un sistema costruttivo a secco.

realizzate, allo scopo di massimizzarne gli effetti energeticamente positivi. Analizzare le tecnologie costruttive più utilizzate, sia storiche sia, più approfonditamente, quelle recenti, costituisce il punto di partenza nella ricerca dell'individuazione delle problematiche che inducono a ritenere ormai inderogabile la necessità di una riformulazione dei criteri formali, funzionali e tecnologici delle costruzioni.

A partire dal secondo dopoguerra, i progettisti furono fortemente attratti dalle tecnologie industrializzate e dai componenti prefabbricati che ne erano naturale compendio. Dopo una prima fase di resistenza in cui prevalse la convinzione che i sistemi industrializzati e i prodotti per le nuove tecnologie fossero difficilmente adattabili alla tradizione costruttiva italiana, alla fine degli anni Sessanta, il ricorso a tali nuove tecnologie divenne una scelta praticamente inevitabile: Sono state, in primo luogo, le necessità dettate da una forte ondata di urbanesimo con il conseguente bisogno di nuove abitazioni, in breve tempo, a determinare tale inversione di marcia. Si trattava, principalmente, di nuove tecnologie e nuovi processi basati sul diffuso impiego del getto di calcestruzzo in opera e di elementi prefabbricati. In questo periodo sono stati costruiti circa i 2/3 dell'edilizia oggi esistente. Oggi ci si trova a dover affrontare il tema della sostenibilità dei costi energetici in un contesto nel quale la quasi totalità del costruito necessita, in maniera più o meno estesa, di un radicale adeguamento formale, funzionale, tecnologico ed energetico. Il degrado delle facciate, l'assenza di isolamento termico ed acustico, la presenza di ponti termici in corrispondenza dei nodi tra chiusura verticale e partizione orizzontale, sono le principali cause di inefficienza delle costruzioni che potrebbero vanificare i risultati ottenibili con le nuove costruzioni a seguito dell'applicazione di nuovi processi e tecnologie applicate alle costruzioni. Non potrà esserci effettivo beneficio in termini di sostenibilità e di riduzione dei fabbisogni energetici, con particolare riferimento a quelli derivanti dall'impiego di combustibili fossili, se non si procederà, parallelamente, a rendere più efficienti anche gli edifici già realizzati con tecnologie inadeguate al raggiungimento di tali scopi. Questa condizione dovrebbe costituire un forte sprone per avviare lavori di indagine e ricerca tesi alla definizione di tecnologie capaci di svolgere un ruolo determinante⁶ in questo settore.

La progettazione nel recente passato

⁶ Si tratta però di un ambito piuttosto vasto, che richiederebbe anni di ricerca: per il momento la ricerca sugli involucri evoluti a comportamento dinamico si limita a considerare l'intervento sull'esistente come un'ipotesi di impiego della progettazione tecnologica, senza però entrare nel merito delle variabili messe in campo specificatamente da questo tipo di intervento. Non si esclude però la possibilità di un'evoluzione futura della ricerca in questa direzione (vedi capitolo 8).

Oggi si va sempre più affermando una diversa consapevolezza della questione ambientale, anche se troppi condizionamenti ne producono effetti ancora troppo limitati. Non è raro vedere che la soluzione dell'isolamento termico delle pareti esterne è considerato come risolutivo ai fini del corretto impiego energetico: al contempo le costruzioni realizzate con tali accorgimenti godono di sempre maggior favore sul fronte del mercato immobiliare, condizione che non sempre giova alla qualità energetica complessiva degli edifici stessi. Attraverso certificazioni, sempre più utilizzate in campo europeo, si tende a comprovare la qualità del prodotto edilizio. I costruttori devono così agire in un contesto nel quale non è solamente il parametro economico a fare la differenza ma vi è anche quello culturale in rapida evoluzione.

Principali elementi tipologici caratteristici delle costruzioni



Figura 2.3 Esempio di edificio appartenente alla tipologia edilizia in linea.

La parte più rilevante del patrimonio edilizio italiano, costruita cioè tra il 1960 ed il 1980, è quella in cui si concentrano maggiormente le problematiche legate ai consumi energetici. La tipologia più diffusa è quella in linea (fig. 2.3): palazzine plurifamiliari di altezza variabile (dai tre ai quattordici piani) che comprendono dai 10 ai 150 appartamenti di superficie compresa, prevalentemente, tra i 30 e i 100 mq. Meno diffusa la tipologia edilizia a torre, realizzate tra i 6 e i 20 piani, comunque composte di un elevato numero di alloggi, impiegata laddove l'indice di edificabilità rendeva ardua l'ottimizzazione della densità abitativa. È con la prefabbricazione pesante che gli edifici divengono più estesi e complessi e per la gran parte dotati di ascensore (fig. 2.4).

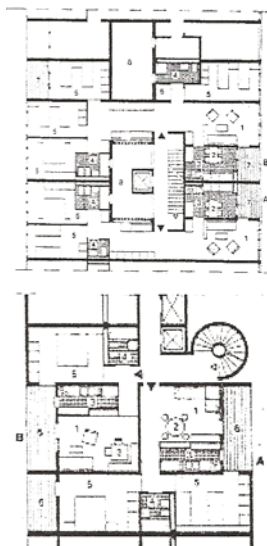


Figura 2.4 Esempio di edificio appartenente alla tipologia edilizia a torre.

Per quanto le costruzioni per il terziario abbiamo un ventaglio di tipologie che scontano la cultura dell'epoca nelle quali sono state realizzate, quella più diffusa, soprattutto a seguito della rivoluzione industriale, è quella cellulare con distribuzione a pettine, ovvero stanze affacciate su un corridoio lineare da una o da entrambe le parti, soluzione molto pratica da un punto di vista realizzativo. A seguito della rivoluzione industriale, con l'avvento delle tecnologie capaci di lavorare, prefabbricare e standardizzare elementi metallici di rilevanti dimensioni, l'utilizzo di pareti vetrate e l'invenzione dell'ascensore, è stato possibile realizzare edifici più alti nei quali le tecniche utilizzate permettono risparmi economici e maggiore qualità del prodotto finito (infissi vetrati o metallici - tecnologia del *curtain wall*). Dal punto di vista distributivo si affermano tipologie diverse, derivanti del rapporto tra persona e lavoro e del ruolo delle persone nel processo produttivo. All'inizio si afferma la soluzioni ad open-space, già un declino dagli anni Sessanta, sostituita poi da nuove tipologie come quella *ad albero*, costituita da una varietà di spazi intermedi tra pubblico e privato e con spazi personali di lavoro adiacenti ad un grande spazio comune.

Nel nostro paese la tecnologia costruttiva più diffusa è quella a telaio in calcestruzzo armato gettato in opera. Lo scheletro è realizzato indipendentemente da tutto il resto. Successivamente vengono aggiunti i tamponamenti esterni, le partizioni interne, generalmente in muratura di laterizio forato. I solai sono generalmente realizzati con lastre di calcestruzzo armato (predalle) oppure con travetti di laterizio e traliccio metallico (bausta) o di c.a. pre-compresso (travetto Varese) e tavole di riempimento. Son più rari i casi relativi all'impiego di pannelli prefabbricati in calcestruzzo, solitamente assemblati con getto di completamento in opera o con sistemi di fissaggio metallici. Facciate e partizioni sono realizzate con pannelli prefabbricati leggeri in calcestruzzo, singoli o multistrato. Le tecnologie costruttive per i solai sono le medesime utilizzate per i sistemi intelaiati. Le pareti portanti possono avere o meno rinforzo strutturale a seconda del sistema utilizzato, ad ogni modo vi sono oggettivi limiti dimensionali imposti dagli elementi prefabbricati, cosa che influenza notevolmente la composizione degli alloggi. L'involucro di facciata è, nella maggior parte dei casi, la semplice risposta alla configurazione modulare dell'edificio: dall'impiego del laterizio, con caratteristiche migliorate, all'utilizzo, ormai non più molto diffuso, di pannelli prefabbricati in calcestruzzo di colore naturale, ovvero grigio scuro. Si tratta prevalentemente di edilizia sorta in un periodo di forte domanda di abitazioni che ha portato alla costruzione, rapida e spesso in assenza di regolamentazione tecnica, di edifici multipiano basati sull'uso di tecnologie legate soprattutto alla velocità di esecuzione piuttosto che alla qualità architettonica.

Principali tecnologie per le costruzioni

Le soluzioni tecnologiche più innovative oggi utilizzate sono quelle a strati paralleli e contigui costituite da un'unica pelle che coincide con l'involucro edilizio. L'involucro è composto da più strati e le superfici di ogni strato interno aderiscono a quello dello strato precedente e/o successivo, componendo un sistema che le proprie terminazioni nelle superfici interne ed esterne. Costituisce, analogamente, uno strato l'aria contenuta in una eventuale intercapedine delimitata da due strati.

Principali sistemi costruttivi adottati nella prassi progettuale

Le prestazioni di dinamicità sono date dalla interazione dei fenomeni fisici indotti dalla natura con lo spessore dei materiali impiegati. La stratificazione dei materiali all'interno della pelle determina condizioni di funzionamento e di interazione tra interno ed esterno specifiche che si producono secondo una sequenza dinamica, preordinata in fase di progettazione, per rispondere alle condizioni al contorno, sia quelle costanti sia quelle variabili. È un sistema che permette una notevole libertà del disegno formale delle aperture, condizione che favorisce scelte ottimali per la ventilazione naturale dei vani che sono a ridosso dell'involucro.

Si possono realizzare soluzioni costruttive attraverso l'impiego di elementi tecnologicamente semplici, costituiti da piccoli elementi, per sistemi da realizzare in opera, o grandi elementi, per sistemi prefabbricati o preassemblati, la cui scelta è funzione dei fenomeni fisici da innescare per rispondere ai fattori che agiscono sull'involucro ma anche dei fattori economici e sociali nei quali l'edificio è realizzato.

In questa famiglia distinguiamo due tipi che si differenziano in base alla natura dei materiali utilizzati: involucri opachi e trasparenti.

Gli involucri opachi si possono realizzare impiegando elementi tecnologicamente semplici, costituiti da piccoli elementi, per sistemi da realizzare in opera, o grandi elementi, per sistemi prefabbricati o preassemblati.

Il contesto ambientale mediterraneo/continentale vede l'avvicinarsi di condizioni climatiche e microclimatiche notevolmente variabili sia nell'arco delle stagioni, con condizioni di gran caldo d'estate e di estremo rigore termico d'inverno, sia nelle condizioni di irraggiamento solare, con variabilità estreme di soleggiamento e di sull'orizzonte. Per poter intervenire con efficacia in tali condizioni si rende necessario impiegare quei materiali che siano in grado di garantire un'adeguata inerzia termica, ovvero materiali caratterizzati da una elevata massa (laterizio, pietra, calcestruzzo), condizione necessaria per offrire uno sfasamento termico capace di trasporre alla notte l'ingresso di calore assorbito di giorno, durante le ore di intenso soleggiamento. La collocazione degli strati all'interno della chiusura è realizzata anche rispetto alla destinazione d'uso dei locali ai quali è connessa: in ambiti dove vi è continua permanenza di persone, e si richiede prevalentemente il mantenimento di un valore costante di temperatura, è preferibile posizionare lo strato deputato all'inerzia termica verso l'interno. Oppure, la rispettiva collocazione degli strati può essere funzionale all'orientamento dell'edificio: le pelli disposte sui fronti a maggiore irraggiamento richiedono, infatti, un valore di inerzia superiore rispetto a pelli esposte ad est o nord, dove l'isolamento termico può costituire, invece, il requisito fondamentale; nel primo caso la massa viene applicata verso l'esterno, mentre nel secondo viene collocata dopo l'isolante termico. Anche il colore e le caratteristiche fisiche dello strato di finitura superficiale (intonaci, rivestimenti) possono intervenire sul controllo del calore da irraggiamento, riflettendo o assorbendo determinate lunghezze d'onda delle radiazioni solari con un conseguente minore o maggiore accumulo di calore. Nell'applicazione di strati paralleli contigui è importante anche mantenere il controllo della condensazione tra i diversi strati, verificando le interfaccia tra superfici calde e fredde ed inserendo, eventualmente, barriere al vapore o camere d'aria.

In alternativa all'applicazione di più strati è possibile adottare materiali a cambiamento di fase (PCM). Si tratta di prodotti costituiti da un singolo strato in

grado di innescare prestazioni variabili in funzione del mutamento delle condizioni al contorno.

Le caratteristiche di questa tipologia costitutiva risultano tali da consentire l'inserimento di aperture dirette per la ventilazione naturale; ipoteticamente, garantiscono anche una relativa semplicità di spostamento delle stesse nel caso di modifiche nella distribuzione interna dei vani (variabilità dei fattori interni relativa a trasformazioni nella destinazione d'uso dei locali). In questo ambito, le soluzioni che adottano piccoli elementi, soprattutto per chiusure non portanti, consentono un discreto livello di trasformazione; soluzioni che, invece, adottando sistemi prefabbricati o preassemblati possono presentare minore adattabilità.

L'elevato livello di applicabilità consente un impiego di questa tipologia costitutiva in tutte le destinazioni d'uso, con particolare riferimento a quella residenziale, tradizionalmente caratterizzata dalla presenza di sistemi di chiusura opachi, e nelle nuove costruzioni come nelle ristrutturazioni. Generalmente, questa tipologia si configura, negli interventi di ristrutturazione edilizia, attraverso l'applicazione di strati aggiuntivi alla chiusura esistente la più comune delle quali è quella ottenuta applicando alla pelle esistente, usualmente composta da un involucro a piccoli elementi in laterizio, un cappotto isolante esterno. Tale soluzione offre, inoltre, la possibilità di ridurre o eliminare completamente i ponti termici.

Gli involucri trasparenti sono le soluzioni realizzate con chiusure di tipo trasparente che, per la configurazione del sistema costruttivo, offrono prestazioni dinamiche. A tal fine i sistemi di facciata trasparenti, appartenenti alla tipologia costitutiva degli strati paralleli contigui, sono composti da un tamponamento trasparente che è dotato da doppia o tripla camera, in una delle quali può essere collocata una veneziana orientabile interna, volta al controllo dell'irraggiamento solare. Tale struttura di facciata consente di evitare l'ingresso delle radiazioni solari nell'edificio, limitando sensibilmente l'effetto serra. Per le caratteristiche del sistema costruttivo, questi involucri sono realizzati generalmente con sistemi di facciata di tipo continuo tradizionale. Questa famiglia di involucro è prevalentemente applicata nelle destinazioni d'uso terziarie, per le tipologie edilizie a corpo isolato, in linea e a torre. E' utilizzabile anche nelle destinazioni d'uso residenziali, nelle tipologie in linea, per gli spazi di circolazione e collegamento.

L'inefficienza energetica, tecnologica e formale costituisce il dato connotativo saliente del patrimonio edilizio nazionale. L'impiego di tecnologie globalmente diffuse ha ridotto in pochissimi decenni la qualità e la specificità dell'ambito urbano delle

Principali criticità del patrimonio edilizio italiano

città italiane che sono state, invece, lungamente ammirate proprio per la varietà, integrazione e spessore dell'architettura.

L'edilizia recente non è stata in grado di porsi in continuità con quanto prodotto in epoca storica, non solo rispetto alla qualità formale e urbana ma non ha saputo neppure cogliere le opportunità che il progresso scientifico ha reso disponibili ai fini di un sempre maggiore confort abitativo, senza dover depredare le "finite" risorse fossili del nostro pianeta.

La gran parte di queste costruzioni presentano gravi carenze, sia in termini formali e funzionali (qualità architettonica, accessibilità, inserimento urbanistico) sia tecnologici (insufficiente isolamento termico ed acustico) sia ambientali/energetici (progettazione avulsa dalle condizioni ambientali al contorno, mancato sfruttamento di fonti energetiche naturali, elevati consumi di energia). L'industrializzazione dei processi costruttivi e la trasportabilità dei materiali e delle tecnologie ha uniformato, banalizzandola, l'immagine delle città italiane, in particolare delle periferie, mimetizzando quanto di caratteristico vi era della città storica ed esaltando le patologie intrinseche alle costruzioni nelle quali quelle di maggior rilievo sono riferite all'ambito tecnologico, delle quali si darà dettagliata esposizione nei successivi capitoli e che qui si riassumono brevemente (tab. 2.1, prima individuazione dei fattori interni ed esterni che influenzano le prestazioni di un involucro).

Prestazioni	Variabili interne	Variabili esterne
Isolamento	Materiale Caratteristiche fisico-termiche	Caratteristiche climatiche locali
Trasparenza	Geometria della aperture Ubicazione delle aperture Tipo di vetro Posizione delle aperture	Orientamento
Schermatura	Dimensioni Posizioni Regolabilità	Soleggiamento
Ventilazione	Tipo di apertura Posizione della aperture Dimensione delle aperture	Vento

Tab. 2.1 Prima individuazione dei fattori che influiscono nella progettazione di un involucro evoluto a comportamento dinamico

Isolamento termico

Solamente di recente sono state inserite puntuali disposizioni nella normativa tese al raggiungimento di parametri di efficienza energetici decisamente più elevati e certi.

Fu la guerra arabo-israeliana dello Yom Kippur ad innescare la prima grande crisi energetica. La conseguente crisi petrolifera del 1973 ebbe inizio, in ottobre, con la decisione dei membri arabi dell'Opec di sospendere le forniture a quei paesi che sostenevano Israele, vale a dire gli Stati Uniti e i suoi alleati in Europa. L'embargo ebbe l'effetto di quadruplicare il prezzo del greggio evidenziando la dipendenza delle economie dei paesi industrializzati dalla produzione petrolifera concentrata nei paesi arabi e facendo sentire i suoi effetti più devastanti in Europa e Giappone dove i

continui rincari del greggio costrinsero i paesi consumatori a varare misure di emergenza per fronteggiare la crisi.

In Italia fu con la legge n. 373 del 1976, "Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici", che per la prima volta si afferma, in ambito legislativo, il principio del risparmio energetico. L'art.1, infatti, fissa come obiettivo quello di contenere il consumo energetico, per fini termici, negli edifici, introducendo concetti moderni in tema di progettazione degli impianti ed isolamento termico degli edifici. Ciò non ha prodotto, peraltro, quei risultati che ci si prefiggeva. Se si confrontano la situazione italiana con quella di paesi con clima simile al nostro, fino ad oggi, rileviamo che il nostro standard d'isolamento termico è molto inferiore. Ciò ha determinato un aumento dei consumi energetici dal 1990 al 2002 del 5,6%⁷ ed ha indotto l'emanazione delle misure restrittive stabilite dalle normative nazionali a seguito del recepimento della già citata Direttiva 2002/91/CE.

Per l'isolamento acustico il gap culturale è ancora maggiore. La normativa è ancora più recente e ancora di difficile applicazione. In questo ambito si scontano anche inadeguatezze tecnologiche e professionali. Infatti i punti di debolezza sono rappresentati da difetti costruttivi o dalla scarsa perizia degli addetti all'assemblaggio dei materiali e dei componenti o dalla scarsa qualità dei materiali da costruzione impiegati. Ma vi è anche una diffusa inadeguatezza progettuale a monte delle criticità prodotta da un inadeguato isolamento acustico. Sono, infatti, gli spessori limitati degli elementi di chiusura dei volumi e della loro eccessiva rigidità gli elementi che portano ad amplificare la trasmissione delle onde sonore attraverso la struttura.

Isolamento acustico

Cause esogene al costruito sono sempre più responsabili del degrado delle costruzioni: piogge acide, solventi presenti nelle scorie prodotte dalla combustione di fonti energetiche fossili. Ma molto di più lo sono anomale o inadeguate tecnologie o la qualità dei materiali impiegati nelle costruzioni. Le infiltrazioni provenienti dal degrado degli strati impermeabilizzanti delle superfici o dai paramenti esterni (piani, inclinati o verticali che siano), l'inadeguatezza dei sistemi di smaltimento delle acque reflue, la formazione di condensa sulle superfici interne degli edifici, premessa per la formazione di pericolose muffe, dovute all'inadeguato bilanciamento del microclima interno con il clima esterno, l'impiego di infissi dalle caratteristiche non conformi alle esigenze climatiche al contorno, sono le principali criticità conseguenti ad una non corretta progettazione ed ad una inadeguatezza tecnologica dei prodotti impiegati e

Protezione dagli agenti atmosferici

⁷ ECOFYS, Mitigation of CO₂. Emission from the Building Stock, Germany, 2003

anche della non sempre adeguata competenza professionale degli addetti impiegati nel processo costruttivo.

2.1.3 Analisi economica

Nel valutare la convenienza di un involucro evoluto a comportamento dinamico, rispetto ad un diverso sistema costruttivo tradizionale, è necessario considerare i costi della tecnologia, che spesso assumono un peso rilevante.

Innanzitutto, la voce dei costi deve essere valutata considerando l'intero ciclo di vita utile dell'edificio a cui l'involucro viene applicato. Il funzionamento in esercizio di questo sistema costruttivo implica, infatti, la valutazione del rapporto costi/benefici durante l'intero periodo in cui l'involucro non solo svolge efficacemente il suo ruolo di chiusura ma, soprattutto, sfrutta le sue caratteristiche per ridurre il consumo di energia non rinnovabile. All'interno del ciclo di vita utile si ritrovano quindi, oltre ai costi di progettazione e realizzazione, anche quelli di gestione e manutenzione e, se si considera anche la fase terminale del processo edilizio, quelli di dismissione e smaltimento dell'involucro stesso.

Tale valutazione risulta alquanto complessa e difficile da compiere, a causa degli scarsi dati relativi al comportamento del sistema in condizioni di esercizio (riferibili agli effettivi risparmi energetici nella climatizzazione); dati che, soprattutto per l'area italiana, si riferiscono ad un esiguo numero di interventi realizzati. È doveroso sottolineare l'impegno di centri di ricerca e Università nello studio sperimentale del comportamento dinamico di sistemi così complessi (al riguardo si veda il capitolo sesto). Va inoltre rilevato che ogni soluzione d'involucro costituisce un caso a sé dal quale si possono trarre indicazioni generali e non paradigmatiche, ovvero protocolli ripetibili automaticamente ad altre realizzazioni.

I costi di progettazione crescono in ragione dei maggiori oneri derivanti dalla progettazione dell'involucro, dall'identificazione del sistema tecnologico più adatto alla realizzazione in corso e del suo funzionamento fino alla compilazione del progetto esecutivo.

Come già accennato, per lo sviluppo di queste operazioni è inevitabile la presenza di più figure professionali specifiche: dal progettista incaricato dell'assetto funzionale ed architettonico, ai tecnici specializzati nel precisare puntualmente gli elementi che la compongono (vetri, infissi e dispositivi di completamento), agli impiantisti che devono definire e calibrare le tecnologie per la climatizzazione. Queste spese non sono oggi evitabili, a causa dell'indispensabile verifica prestazionale da compiere per ogni progetto, unico nel suo genere per le specifiche caratteristiche ambientali, interne ed esterne, che caratterizzano ogni singolo intervento.

Per comprendere la dinamica generale dei costi di costruzione di un involucro evoluto a comportamento dinamico si analizzano, di seguito, le variabili economiche che incidono nella definizione di ogni elemento tecnologico che compone il sistema.

Le tecnologie adottate per le due pelli, che costituiscono la condizione base per la definizione di involucro evoluto a comportamento dinamico, rappresentano una variabile consistente della voce dei costi che dipende, in primo luogo, dalle caratteristiche fisiche e meccaniche adottate sia per la struttura portante delle due chiusure sia per il sistema di supporto delle singole pelli stesse, soprattutto se si tratta di tecnologie a secco. Gli involucri che richiedono un telaio indipendente rispetto alla struttura portante del fabbricato comportano, in linea generale, un costo superiore rispetto a quelli che possono direttamente agganciarsi, per entrambe le pelli, all'edificio stesso. Le facciate che realizzano una quinta architettonica aggiuntiva rispetto al volume dell'edificio hanno, infatti, un costo elevato, soprattutto se paragonato alle tipologie in cui ad un unico telaio, fissato alla struttura portante dell'edificio, si agganciano entrambe le chiusure. Tale osservazione è confermata anche dall'aspetto relativo al possibile livello di prefabbricazione del sistema (per sistemi a secco, sia trasparenti, sia traslucidi che opachi): la tipologia a singoli elementi, ad esempio, presenta un elevato livello di prefabbricazione che consente di realizzare i moduli che compongono l'involucro interamente nella sede dell'azienda produttrice, riducendo l'intervento in cantiere al solo fissaggio delle celle e con un conseguente risparmio nelle operazioni di montaggio. Nelle chiusure che non prevedono l'impiego di soluzioni standardizzate, ma l'assemblaggio di due differenti tecnologie di facciata, mutate da sistemi già esistenti in commercio, si rischia, invece, di configurare un involucro con prestazioni, e relativi costi, ridondanti. Utilizzando tecnologie di facciata commerciali, sia per la pelle esterna sia per la pelle interna, si può comporre una chiusura costituita da due facciate, ugualmente atte a svolgere la funzione di chiusura esterna, dotate di tutti i dispositivi e i materiali necessari a proteggere un vano interno; in realtà, tale funzione deve essere svolta dall'insieme delle due pelli, ognuna delle quali non deve raddoppiare le prestazioni dell'altra. Per ultimo, devono essere valutati i costi relativi ai soli tamponamenti; costi che possono variare notevolmente a seconda delle caratteristiche dei materiali utilizzati.

Il numero e le caratteristiche fisiche delle griglie di ventilazione dell'intercapedine costituiscono un'ulteriore voce che concorre alla definizione del costo globale dell'involucro. L'impiego di un sistema di ventilazione di tipo variabile implica, ad esempio, l'applicazione di dispositivi caratterizzati da un elevato livello tecnologico,

con un conseguente incremento dei costi, anche energetici, e dai costi indotti dalle necessità manutentive di tali sistemi che sono, generalmente, non trascurabili.

Oltre alle veneziane e alle tende avvolgibili, la cui economicità è sottolineata dalla semplicità del funzionamento e dalla tipologia dei materiali di cui sono costituite, possono essere utilizzati, per la protezione solare e il controllo dall'introspezione, anche altri sistemi, spesso ideati appositamente dai progettisti per ottenere determinate prestazioni illuminotecniche e/o architettoniche. I dispositivi non commercialmente diffusi presentano costi variabili in funzione della complessità della tecnologia adottata, dei materiali utilizzati (alluminio, legno, pietra, ecc.) e del livello di industrializzazione raggiungibile durante la loro produzione e montaggio.

Anche la conformazione e le caratteristiche fisiche e meccaniche dei profili che suddividono l'intercapedine in più unità separate incidono sul costo complessivo: esse dipendono, oltre che dalle dimensioni dello spazio compreso tra le due pelli, dalle funzioni supplementari che vengono loro attribuite. Se per una semplice compartimentazione può risultare, infatti, sufficiente l'impiego di un unico profilo metallico (lamiere calandrate e/o piegate), per sistemi maggiormente articolati è necessario l'impiego di più profili e componenti, da assemblare, integrare ed adattare tra loro con un conseguente incremento dei costi. Nelle facciate a singoli elementi, ad esempio, i dispositivi di compartimentazione dell'intercapedine coincidono, solitamente, con il telaio di supporto di entrambe le pelli, risolvendo, con un solo componente tecnico, sia il dettaglio tecnologico del supporto delle facciate sia quello della separazione dello spazio contenuto tra le due pelli.

Le variabili relative al numero, al grado di complessità (nell'apertura e chiusura) e alla dimensione dei dispositivi per il collegamento dei vani con l'intercapedine e con l'esterno, oltre a modificare sensibilmente la composizione costruttiva ed architettonica delle facciate, influiscono anche sul costo finale dell'involucro. L'impiego di aperture dirette, collocate su una o entrambe le pelli, comporta però anche l'allestimento di un involucro in grado di offrire prestazioni aggiuntive rispetto a quelle normalmente fornite da sistemi semplici; prestazioni che, ad esempio, possono consentire un risparmio economico nella fase di gestione dell'involucro (semplificazione delle operazioni di manutenzione dell'intercapedine, risparmio sul costo degli impianti per il ricambio di aria interna, ecc.). Anche i materiali e le tecnologie con cui vengono realizzate le passerelle poste nell'intercapedine ad ogni piano dell'edificio influiscono sul conto complessivo dell'involucro; in generale, vengono utilizzate passerelle metalliche costituite, per le tipologie a tutta superficie, da elementi grigliati idonei a consentire il passaggio dei flussi di aria di ventilazione dell'intercapedine. Nelle soluzioni a canali orizzontali, dove, ad esempio, la

separazione fisica tra le intercapedini può essere realizzata direttamente dagli aggetti delle solette, rispetto alla posizione della pelle interna non sono necessari sistemi per la fruizione e nemmeno elementi di compartimentazione orizzontale.

Nel trattare dei costi economici indotti dai sistemi meccanici di ventilazione è inevitabile considerare il notevole incremento che questi hanno nella realizzazione dell'involucro. L'entità di tale voce di costo dipende dal numero di elementi utilizzati e dalla portata di aria che devono garantire; di conseguenza, tipologie di facciata a singoli elementi che utilizzano un ventilatore per ogni intercapedine possono risultare meno economiche di tipologie a canali orizzontali o a tutta superficie, dove il numero di elementi ventilanti è minore, ma sempre proporzionato al volume d'aria da espellere.

Sono estremamente variabili, invece, i costi dei sistemi per l'automazione, meccanici ed elettrici. Essi hanno la funzione di permettere la configurazione di alcuni degli elementi descritti precedentemente. Il loro costo è definito da numerose variabili in quanto la gamma dei prodotti offerti dal mercato cambia sensibilmente in funzione dei sistemi utilizzati e del livello di automazione che si vuol dare all'involucro. La coerenza, nella loro applicazione, è funzionale alla complessità tecnologica dell'involucro. E' necessario evidenziare come la possibilità di rendere autonomo e indipendente il funzionamento di porzioni di involucro relative ad ogni utenza (uno o più vani), oltre a ridurre l'effetto benefico complessivo della facciata, può incrementare ulteriormente i costi complessivi considerati nella loro accezione totale, ovvero quelli che vanno dalla progettazione allo smaltimento, passando anche per la gestione e manutenzione.

Risulta quindi assiomatica la corrispondenza tra costo di costruzione di un involucro evoluto a comportamento dinamico e il livello di complessità tecnologica (fig. 2.5) di cui lo stesso sistema è portatore.

Altra voce che incide sulla compatibilità di realizzare un edificio con il sistema dell'involucro evoluto a comportamento dinamico è data dalla valutazione dei costi di gestione e manutenzione, ai quali si è già accennato. Essi si riferiscono alla fase del processo edilizio durante la quale l'edificio è utilizzato direttamente dagli utenti. I costi di gestione sono costituiti dalle spese necessarie alla quotidiana fruizione delle unità ambientali dove è applicato l'involucro. La loro entità dipende dal funzionamento dell'involucro in condizione di esercizio; di conseguenza, ad essi si attribuiscono le spese energetiche per l'illuminazione artificiale, il riscaldamento e il condizionamento dei vani e le spese, se esistenti, per l'azionamento di componenti elettrici che modificano la configurazione dell'involucro (griglie, veneziane, ventilatori

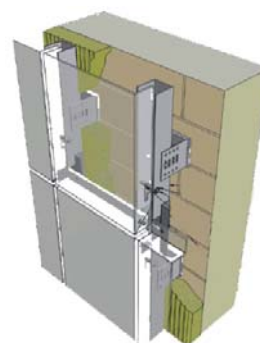


Figura 2.5 Esempio di sistema costruttivo a secco caratterizzato da un'elevata componentistica tecnica.

e relativi software di comando, manovrati in funzione delle condizioni ambientali esterne ed interne).

I costi di manutenzione, invece, sono costituiti dalle voci economiche necessarie al mantenimento delle performance del sistema nel tempo. Le operazioni di manutenzione dell'involucro vengono effettuate generalmente dall'intercapedine che, pertanto, deve consentire una sufficiente dimensione per permettere agli operatori di lavorare in condizioni di assoluta sicurezza; da tale posizione, infatti, è possibile intervenire su entrambe le pelli e su tutti i dispositivi complementari. Su tale voce di spesa incidono, significativamente, i costi di manutenzione di elementi comandati elettricamente e di sistemi meccanici complessi che, seppure abbiano livelli economici indifferibili, possono essere mitigati attraverso una attenta progettazione dell'involucro, rendendo, se non altro, agevoli e quindi meno dispendiose le operazioni di manutenzione.

2.2 Indicazione sul livello di applicabilità della ricerca: dato qualitativo e quantitativo

La metodologia di indagine appena descritta fornisce informazioni anche sul livello di applicabilità della ricerca. La validità di quanto successivamente descritto e approfondito risiede nell'individuazione di un percorso di ricerca ben preciso e delimitato: negli anni, l'impegno a delineare un percorso di ricerca con precisi obiettivi e risultati attesi ha permesso da un lato l'individuazione di una metodologia coerente con il percorso svolto e dall'altro ha affinato il problema scientifico e l'obiettivo stesso della ricerca.

È possibile ritrovare questo sforzo in diversi aspetti caratteristici del presente studio:

- nell'approccio sistemico e non lineare impostato per lo studio degli involucri evoluti a comportamento dinamico; l'argomento in oggetto infatti non poteva prescindere da un approccio fortemente interdisciplinare. In un quadro, come quello contemporaneo, di domanda sostenibile, decisive sono le innovazioni di processo che forniscono le procedure e gli strumenti di ottimizzazione dei nuovi obiettivi in grado di coniugare ambiente e sviluppo. Rispondere, infatti, alla domanda sostenibile implica anche una profonda trasformazione dei ruoli degli operatori interni ed esterni al processo edilizio, quali committenti, progettisti, costruttori, produttori di materiali e componenti, enti locali e portatori di interesse: tale trasformazione risiede appunto nell'interdisciplinarietà e nell'integrazione tra differenti attori del processo edilizio, caratteristiche queste imprescindibili anche nello studio della presente ricerca;

- nella metodologia di indagine esposta nei paragrafi precedenti del presente capitolo; nella produzione dei materiali, gli obiettivi significativi si concentrano principalmente nella ricerca sul contenuto energetico degli stessi, nella riduzione della tossicità dei processi produttivi, nella realizzazione di prodotti più efficienti e nel costo energetico di smaltimento. L'approfondimento del ciclo di vita dei materiali costituisce una valutazione fondamentale per l'applicazione dei materiali per involucro, la presente ricerca si basa anche su tale valutazione non entrando però nel merito di una specifica trattazione, ma evidenziando quali siano le tendenze evolutive in atto nell'ambito dei materiali da costruzione;
- durante il processo di progettazione, la presenza di pelli anche diverse tra loro induce alla valutazione e all'analisi di sistemi costruttivi diversi che devono essere posti in relazione tra loro; il fine è infatti la realizzazione di un sistema di involucro in cui tutti i componenti si integrano tra loro, definendo un sistema complesso capace di offrire prestazioni dinamiche. Questa composizione complessa non deve solamente offrire le corrette prestazioni ma entrano in gioco anche aspetti diversi: il livello di applicabilità della presente ricerca è fornito da un lato dalla metodologia di approccio indicata ai punti precedenti, dall'altro dagli spunti di riflessioni puramente tecnologici scaturiti dallo studio del comportamento dinamico di involucri evoluti;
- infine, per quanto riguarda i contenuti specifici, sono stati individuati e valutati importanti strumenti per la progettazione degli involucri evoluti a comportamento dinamico. Tra gli altri, l'obiettivo è quello di fornire indicazioni applicative di effettiva fattibilità: si è infatti tentato di trovare un equilibrio tra considerazioni di innovazione pura (o fondamentale) e quindi spesso slegata dalla realtà progettuale e una mera applicazione e limitazione delle conoscenze diffuse e delle soluzioni presenti sul mercato o nella comune prassi progettuale.

**Parte seconda – Involucro evoluto a
comportamento dinamico**

3

Capitolo 3 – Individuazione dei fattori interni ed esterni per la definizione di uno schema di analisi e valutazione esigenziale - prestazionale

3.1 Fattori esterni esistenti come parametri per la progettazione dell'involucro edilizio

3.1.1 Contesto macroclimatico

3.1.2 Morfologia dell'intorno

3.1.3 Contesto microclimatico

3.2 Fattori interni richiesti come parametri per la progettazione dell'involucro edilizio

3.2.1 Fattori di comfort ambientale

3.2.2 Fattori tipologici

3.3 Condizioni di confort e fabbisogno energetico: parametri e coefficienti

3.3.1 Resistenza termica R

3.3.2 Trasmittanza termica U

3.3.3 Valore G

3.3.4 Fattore di diminuzione z

3.3.5 Coefficiente t_{vis}

3.3.6 Emissività

3.3.7 Sfasamento e attenuazione

3.4 Elaborazione di uno schema per l'analisi esigenziale – prestazionale delle soluzioni di involucro

3.4.1 Livelli prestazionali di igiene, salute e benessere ambientale

3.4.2 Livelli prestazionali di rumore

3.4.3 Livelli prestazionali di risparmio energetico

La definizione di una corretta soluzione di involucro, nelle forme, nei materiali e nel sistema costruttivo, ha origine nell'individuazione e nella valutazione dei fattori fissi e variabili che caratterizzano l'ambito di applicazione del singolo progetto di architettura; questi fattori generano e inquadrano una serie di vincoli e condizioni a cui l'involucro è chiamato a rispondere, in termini di prestazioni, attraverso l'innescio e/o lo sfruttamento di specifici fenomeni fisici.

Un eccessivo sfruttamento delle fonti energetiche e il basso costo del petrolio hanno incoraggiato la costruzione di edifici il cui comfort climatico deriva in gran parte dagli impianti di climatizzazione. In passato, invece, gli edifici venivano costruiti in rapporto al clima e alle sue variazioni stagionali, sfruttando al meglio l'energia solare per il riscaldamento in inverno e il vento per ottenere condizioni di frescura in estate. L'architettura del XX secolo ha spesso tralasciato lo stretto rapporto tra la validità del costruire e il sole e le sue condizioni climatiche locali, determinando così, oggi, l'esigenza di uno sviluppo di tecnologie maggiormente attenta a fattori quali, ad esempio, la radiazione solare o la temperatura. Prima di ricorrere a soluzioni tecnologiche impiantistiche, si dovrebbe puntare al massimo sfruttamento degli apporti energetici naturali in maniera passiva mediante semplici accorgimenti, come l'orientamento degli edifici verso il sole e la disposizione dei locali, tenendo conto delle variazioni stagionali della temperatura. Un edificio progettato e costruito secondo tali criteri richiede non solo meno energia, ma offre anche un comfort ambientale più elevato. Nel caso di edifici esistenti è possibile intervenire per ovviare ad eventuali errori con alcuni accorgimenti quali la giustapposizione di una seconda pelle per la creazione di serre solari, la sistemazione di schermature solari, la sostituzione o l'integrazione di sistemi isolanti.

Lo scambio termo-igrometrico dell'edificio con l'ambiente esterno è sempre stato un punto cruciale delle tecniche costruttive ed è stato trattato nei modi più vari dalle diverse culture abitative. Il quadro delle condizioni climatiche che nel corso dell'anno si susseguono ritorna ad essere determinante nella progettazione di un edificio e del suo involucro: si tratta di analizzare temperature medie, umidità relativa, soleggiamento diretto e diffuso. Per facilitare la progettazione di sistemi frangisole, ad esempio, è possibile consultare le carte bioclimatiche che, attraverso diagrammi e per aree geografiche diverse, descrivono i parametri che stabiliscono quando considerare l'irraggiamento favorevole o sfavorevole (per l'Emilia Romagna, ad esempio, va consultata la carta relativa alla latitudine 45° Nord e all'altitudine d'interesse) (fig. 3.1). Anche la forma e l'orientamento sono aspetti da considerare come prioritari; configurazioni volumetriche molto compatte, ad esempio, consentono di ridurre le dispersioni di calore ed aumentano, al contrario, i guadagni di radiazione

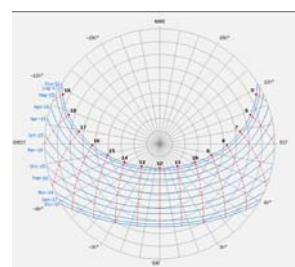


Figura 3.1 Esempio di diagramma solare)

solare quando la temperatura esterna è maggiore di quella interna. Per sfruttare al meglio la ventilazione, invece, si ricorre a forme più aperte dell'edificio, determinando con precisione l'ampiezza delle superfici corrispondenti alle diverse esposizioni influenzando la possibilità di raccogliere e di immagazzinare la radiazione solare interagendo contestualmente con i venti dominanti della zona. Anche il rapporto con un contesto urbanizzato oppure in cui prevale la componente verde influenza gli scambi di calore.



Figura 3.2 Plusenergiehäuser a Friburgo – progetto di Rolf Disch Solar architektur

L'uso di doppi vetri e di schermature mobili (fig.3.2) per le aperture riduce la dispersione durante le ore notturne, mentre le superfici che ricevono molta radiazione solare, esposte prevalentemente a sud, se dotate di aperture, possono accoglierla, immagazzinarla e diffonderla in modo differenziato.

Per sistematizzare tutte queste considerazioni si tratta in primo luogo di riconoscere e identificare questi fattori, mettendoli in relazione tra loro, aggiungendo o sottraendo, quando necessario, dati fisici e termofisici, parametri e vincoli diversi. Alcuni fattori sono il risultato oggettivo della contestualizzazione dell'edificio e dell'involucro in uno specifico ambito; altri invece, derivano direttamente da scelte progettuali di ordine architettonico (tipologia edilizia, volumetria dell'edificio) e funzionale (destinazione d'uso dell'edificio e delle singole unità ambientali). E' fondamentale rilevare che alcuni di questi fattori sono variabili, ovvero presentano, o possono presentare, caratteristiche e attributi mutabili nel tempo (variabilità giornaliera, stagionale, occasionale). Questo aspetto è particolarmente evidente se si fa riferimento, ad esempio come già accennato, alla variabilità delle caratteristiche di irraggiamento e temperatura di un determinato contesto climatico nelle diverse stagioni (oppure semplicemente nell'alternanza tra il giorno e la notte) in relazione alle prestazioni energetiche dell'involucro; od ancora, se si fa riferimento al mutare delle condizioni di fruizione di un edificio durante la giornata o alla possibilità di modificare la destinazione di una o più unità ambientali che affacciano sulla medesima chiusura.

Rilevare in modo puntuale e circoscritto i fattori di influenza consente poi di identificare, con adeguata semplicità e precisione, i requisiti da porre in relazione all'involucro edilizio, ovvero le prestazioni che quest'ultimo deve offrire; prestazioni che vengono disposte dalla chiusura attraverso i fenomeni fisici che essa risulta in grado di produrre o sfruttare in funzione dei materiali, delle geometrie, delle tecnologie e delle configurazioni funzionali impiegati.

Sono stati riportati quelli che permettono di introdurre le principali valutazioni necessarie per progettare un involucro evoluto a comportamento dinamico. E' evidente che per ogni singolo intervento edilizio possono intervenire altri fattori e

fenomeni fisici che hanno una rilevanza tale da influire sulle scelte progettuali e costruttive; rimane valida, in ogni caso, la metodologia di analisi e valutazione adottata e che può essere utilizzata anche al manifestarsi di esigenze diverse da quelle proposte.

L'involucro a comportamento dinamico si configura come una chiusura capace di offrire prestazioni variabili grazie allo sfruttamento o all'innescio (simultaneo o differito secondo le necessità) di più fenomeni fisici; ciò consente alla chiusura di rispondere in tempo reale ai requisiti indotti dalla presenza e/o dall'influenza dei fattori, esterni e interni, fissi e variabili, che agiscono su di essa.

Tale dinamicità, spesso, costituisce un attributo tradizionalmente insito nella natura stessa dell'involucro in quanto offre comportamenti diversi al variare dei fattori di influenza; al contrario, la predisposizione, deliberata e calcolata, di una soluzione costruttiva avente un comportamento dinamico sequenzialmente preordinato costituisce un approccio innovativo al processo di progettazione.

Un aspetto importante, che conferma il valore positivo della variabilità delle prestazioni dell'involucro, è dato dal clima del comprensorio geografico italiano (generalmente mediterraneo) (fig.3.3), con particolare riferimento alle aree di tipo continentale. Per queste aree non esiste una sola condizione climatica, estrema ed univoca, alla quale attenersi per definire i requisiti termici di progettazione della chiusura (come ad esempio avviene per il nord dell'Europa); al contrario, esistono più condizioni differenti (estiva ed invernale) ugualmente estreme e contrapposte, a cui le soluzioni tecnologiche a comportamento dinamico possono rispondere sempre in maniera adeguata. L'edificio, quindi, deve essere visto come elemento di unione tra sistemi naturali di ventilazione, o irraggiamento, dissipazione, assorbimento ed elementi tecnologici in grado di controllarne e massimizzarne gli effetti. E' utile perciò relazionare il progetto a fattori esterni ed interni quali:



Figura 3.3 Suddivisione dell'Italia in zone climatiche

Fattori esterni

- *Contesto macroclimatico*
 - la radiazione solare;
 - l'esposizione a venti e alle precipitazioni meteoriche;
 - cambiamenti dovuti all'alternarsi delle stagioni, delle ore del giorno;
 - l'orientamento;
- *Morfologia dell'intorno*
 - orografia del terreno;
 - tipo di suolo;
 - vegetazione;
 - presenza di un contesto urbanizzato;

- *Contesto microclimatico*
 - luminanza del cielo e fattore di luce diurna;
 - la temperatura e umidità relativa dell'aria esterna.

Fattori interni

- *Fattori di comfort ambientale*
 - temperatura e umidità dell'aria interna;
 - illuminamento e luminanza degli ambienti interni;
- *Fattori tipologici*
 - tipologia edilizia;
 - destinazione d'uso.

Si vedrà di seguito come tutte queste considerazioni portino allo studio e adozione di nuove tipologie edilizie che si adeguino e soprattutto completino le prestazioni delle soluzioni proposte da una progettazione impiantistica più consapevole dei problemi energetici. Si pensi, ad esempio, alla diffusione degli edifici ad atrio o a grappolo (fig. 3.4) nel settore del terziario o anche al semplice utilizzo di elementi architettonici con precise valenze climatiche in quello residenziale. Da un lato queste soluzioni offrono le condizioni migliori per l'impiego di pratiche naturali di riscaldamento e raffrescamento degli ambienti, basate su elementari principi fisici (come ad esempio il potere isolante o i moti convettivi dell'aria di intercapedine); dall'altro accompagnano l'azione di quei componenti edili che basano la loro prestazione sull'utilizzo delle risorse energetiche ambientali per creare, all'interno dei manufatti edilizi, condizioni di benessere per gli utenti. Nelle prime esperienze, questi aspetti si consideravano come facoltativi, quasi come optional da installare a posteriori sull'involucro edilizio; oggi invece è ormai consolidata la tendenza a considerarli come parte integrante della progettazione architettonica e funzionale dell'edificio in generale e, a maggior ragione, dell'involucro stesso (fig 3.5).

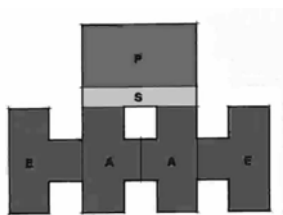


Figura 3.4 Tipologia a grappolo, soluzione aperta con spazi collettivi in parte integrati nell'edificio, ma più facilmente accessibili dall'esterno

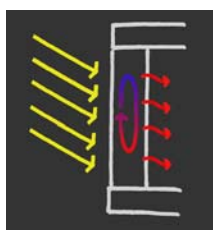


Figura 3.5 Schematizzazione del funzionamento solare di un involucro evoluto a comportamento dinamico

3.1 Fattori esterni esistenti come parametri per la progettazione dell'involucro edilizio

Il controllo delle condizioni esterne rappresenta uno dei principali compiti dell'involucro di un edificio: l'obiettivo è quello di assicurare condizioni di comfort all'interno. Ogni installazione dovrebbe essere valutata come sistema complementare di supporto all'involucro in funzione dell'energia supplementare necessaria per il funzionamento degli impianti tecnici di un edificio, per garantire un adeguato standard di benessere interno. Per questo, la facciata deve reagire alle condizioni climatiche per regolare gli effetti sul microclima il cui legame diretto con

l'involucro edilizio richiede una precisa definizione del termine comfort: l'acquisizione delle informazioni relative ai fattori esterni viene operata tramite la contestualizzazione dell'involucro e dell'edificio entro una determinata posizione geografica e planivolumetrica.

; ciò costituisce il punto di partenza per la progettazione delle pareti esterne e della copertura. I fattori guida, che rappresentano i cosiddetti fattori di comfort e di cui se ne darà, in seguito, una definizione dettagliata, sono strettamente correlati tra di loro ed interdipendenti:

- il contesto macroclimatico;
- la morfologia dell'intorno;
- il contesto microclimatico.

L'importanza dell'analisi dei fattori esterni deriva dalla natura bioclimatica del sistema costruttivo. L'involucro deve, infatti, le proprie prestazioni in condizioni d'esercizio al rapporto diretto che unisce le proprietà fisiche di una o di entrambe le pelli, ai fattori climatici esterni. Da questi ultimi dipende anche la possibilità dell'involucro di offrire prestazioni variabili, ottenute attraverso lo sfruttamento dei fenomeni fisici naturali generati all'interno delle due pelli.

3.1.1 Contesto macroclimatico

La prima categoria è costituita dai parametri relativi alle condizioni climatiche generali dell'area geografica in cui si applica l'involucro e comprende una serie di informazioni deducibili attraverso la consultazione di banche dati. Questi dati si definiscono, in generale, con il termine di macroclima e si identificano con una serie di parametri, specifici per ogni area geografica.

Nella letteratura di settore il *macroclima* viene definito come il livello “*che rappresenta la specificazione degli elementi caratterizzanti la circolazione generale dell'atmosfera alla scala continentale e oceanica, per un'ampiezza verticale di circa 12 km (ad esempio, il clima eurasiatico dominato dagli anticicloni delle Azzorre, il sistema nordamericano dominato dall'anticiclone canadese, il sistema dell'area dei monsoni)*”¹. In questa sede il termine viene utilizzato in maniera non del tutto propria, sostituendolo con il significato più appropriato di *topoclima*, cioè che rappresenta la caratterizzazione climatica a scala locale, per un'estensione orizzontale dell'ordine delle decine di chilometri e verticale di un km; climi locali tipici sono, ad esempio, i climi urbani. Tra questi si inserisce il clima della Pianura Padana caratterizzato da un

¹Grosso, M., *Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato*, Maggioli, Rimini, 2008

Faragò, F., (a cura di) *Manuale pratico di edilizia sostenibile*, Esselibri – Simone, Napoli, 2008

incremento dell'escursione termica annuale (da 20 °C a 25 °C), con un aumento delle temperature medie estive (temperatura media di luglio superiore a 22 °C) e un abbassamento di quelle invernali, che possono raggiungere anche valori negativi. Il massimo di precipitazioni si sposta verso l'estate, mentre l'inverno diviene la stagione meno piovosa, durante la quale le precipitazioni cadono prevalentemente sotto forma di neve.

I dati climatici² disponibili possono riguardare:

- il rilevamento dei dati di un particolare periodo temporale;
- un anno tipo oppure un periodo di osservazione adeguatamente lungo.

Le variabili da determinare per la caratterizzazione del contesto macroclimato in una data località sono :

- la radiazione solare;
- l'esposizione a venti e a precipitazioni meteoriche;
- i cambiamenti dovuti all'alternarsi delle stagioni;
- l'alternarsi delle ore del giorno;
- l'orientamento.

Radiazione solare Quella che comunemente viene chiamata radiazione solare è costituita dalla radiazione solare globale ed è una misura dell'intensità della radiazione elettromagnetica solare che colpisce la Terra. L'angolo di incidenza e l'intensità della radiazione solare dipendono dai movimenti relativi della terra rispetto al sole (giornalieri e stagionali).

Al variare della latitudine varia l'angolo di incidenza dei raggi solari sulla superficie terrestre; di conseguenza, l'intensità di questi ultimi si riduce al crescere della latitudine producendo un aumento della componente riflessa dei raggi solari.

La radiazione solare complessiva ricevuta da una determinata superficie è il risultato di diverse componenti: la radiazione diretta, quella diffusa e quella riflessa del

² Le fonti normative per la descrizione dei profili climatici di un'area si basano sull'elaborazione dei dati meteorologici registrati dalle stazioni meteorologiche (reti di rilevamento). In Italia i dati meteorologici sono raccolti a cura dell'Aeronautica militare, del Servizio Idrologico Nazionale e dell'ufficio Centrale di Ecologia Agraria (UCEA). Si hanno dati completi per circa cento località (soprattutto località sedi di aeroporti), mentre dati parziali sono disponibili relativamente ad un altro migliaio di località. Elaborazioni specifiche dei dati, finalizzate alla progettazione edile ed impiantistica, sono state effettuate da diversi enti. Una raccolta dati è stata effettuata dal CNR nell'ambito del Progetto Finalizzato *Energetica* e pubblicato, nel 1982, nel volume Dati climatici per la progettazione edile ed impiantistica; al 1999 risale invece la pubblicazione del Profilo climatico dell'Italia a cura dell'ENEA. Altre fonti di acquisizione dei dati climatici sono alcune norme specifiche emanate dall'UNI come, ad esempio, la UNI 10349 Riscaldamento e raffrescamento degli edifici: dati climatici; in questo caso, però, sono riportati i dati relativi solo ad alcune grandezze (temperatura, radiazione solare) e riferiti ai soli capoluoghi di provincia. Solo recentemente si sono rese disponibili anche dati trascritte su supporto digitale (Meteonorm).

terreno (fig. 3.6). Quest'ultima si definisce *albedo* e rappresenta, insieme alla *radiazione diffusa*, un parametro microclimatico.

Ad ogni località corrisponde di conseguenza una specifica radiazione solare che viene definita attraverso il parametro dell'intensità: per determinarla occorre individuare in modo preciso la posizione del sole nelle varie ore della giornata e nei mesi dell'anno, utilizzando grandezze quali l'azimut e l'altezza solare³.

Generalmente sono forniti i valori di radiazione solare diretta e diffusa, rilevati su una superficie orizzontale. I dati disponibili si riferiscono ai valori medi mensili, mese per mese, delle due componenti (UNI 10349). La radiazione solare globale è la principale responsabile delle condizioni climatiche del pianeta: la quantità di energia irradiata dal sole è costante in qualsiasi stagione e a qualsiasi latitudine, il valore di 1350W/m^2 indica la *Costante solare*. Il confronto con questo valore permette di valutare quantitativamente il carico energetico incidente sulla Terra.

Un'altra delle principali ragioni delle differenti condizioni climatiche riscontrabili sul nostro pianeta è il *Ciclo solare*, che rappresenta il percorso apparente che il Sole realizza nella volta celeste in un anno.

Le considerazioni svolte fin qui fanno comprendere meglio due aspetti fondamentali sulla necessità di controllare l'ingresso della radiazione solare all'interno degli ambienti abitati:

- quando la radiazione solare entra attraverso una finestra viene assorbita dai corpi presenti nell'ambiente e riemessa con una lunghezza d'onda da non permettere alla radiazione di uscire, con un conseguente innalzamento della temperatura interna;
- la componente visibile della radiazione solare può essere responsabile dei fenomeni di abbagliamento e del decadimento dei materiali fotosensibili.

Si definisce inoltre *stato del cielo* la quantità di cielo coperto da nubi in un dato istante ed in un determinato punto di rilevazione. In base alla quantità media di cielo coperto rilevato, i giorni si classificano in sereni (grado di copertura inferiore a 4/10), misti e coperti. Lo stato del cielo, oltre ad interferire con la radiazione solare incide anche sulla temperatura dell'aria di un luogo.

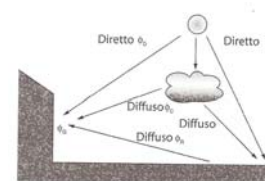


Figura 3.6 Flusso totale ricevuto da una parete (flusso diretto + flusso diffuso proveniente dal cielo + flusso diffuso proveniente dal suolo).

³ L'azimut (fig. 3.7) definisce l'angolo che il piano verticale passante per il sole forma con il sud, cioè per il meridiano del luogo; il valore massimo dell'azimut si verifica al tramontare del sole; il valore minimo, corrispondente a 0° , si verifica invece a mezzogiorno, quando il sole attraversa il meridiano del luogo considerato. L'altezza solare (fig. 3.7) rappresenta invece l'angolo che il piano verticale passante per il sole forma con l'orizzonte; l'altezza massima si raggiunge a mezzogiorno, l'altezza minima al sorgere e al tramontare del sole. I valori di azimut e altezza solare possono essere ricavati da apposite tabelle, elaborate in base a calcoli teorici in funzione della latitudine. L'acquisizione di questi valori può essere semplificata con l'utilizzo delle carte stereometriche che permettono di derivare, per ogni latitudine, la posizione del sole, il momento del sorgere e tramontare, la durata del soleggiamento e l'inclinazione dei raggi solari alle diverse ore della giornata.

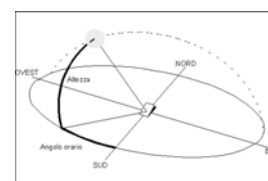


Figura 3.7 Schema per la determinazione dell'altezza solare e dell'azimut

La radiazione solare è determinante nell'individuazione e valutazione della trasmissione di calore per irraggiamento e convezione attraverso l'involucro. Come si vedrà in seguito, è inoltre quel fattore determinante per la formazione dell'effetto serra all'interno dell'intercapedine.

Venti Gli elementi che descrivono il moto ventoso sono la direzione di provenienza, la velocità e la frequenza. La *direzione*, generalmente si misura in gradi assumendo come zero di riferimento la direzione nord e contando in senso orario; la *velocità* è espressa in m/s; la *frequenza* in percentuale ed indica il numero di volte che il vento spira da una determinata direzione.

Il regime dei venti è primariamente generato dall'esistenza di masse d'aria a differente temperatura e pressione riscaldate per effetto della radiazione solare. Le masse di aria calda si muovono verso l'alto; questo movimento provoca una depressione che viene equilibrata dallo spostamento di masse di aria più fredda, producendo la formazione del vento. Lo stesso comportamento si ottiene all'interno di un intercapedine in presenza di riscontro d'aria. Alcuni studi sperimentali hanno dimostrato che il vento influisce significativamente sulla ventilazione dell'intercapedine, se correttamente progettata ed orientata rispetto alla direzione dei venti principali (vedi capitolo 6): un limite a tale correlazione è rappresentato dalla non uniformità del vento alle basse latitudini⁴ e dalla presenza di edifici nell'immediato intorno.

Alle quote inferiori tali valori si modificano sensibilmente in funzione delle caratteristiche dell'immediato intorno. Il vento influenza gli altri parametri del clima, in particolare la temperatura e l'umidità relativa esterne.

Precipitazioni meteoriche Per precipitazione meteorica si intende qualsiasi stato fisico dell'acqua che raggiunge la superficie terrestre; sono quindi precipitazioni meteoriche la pioggia, la neve e la grandine. I parametri che connotano le precipitazioni sono la *quantità* e la *frequenza*. La quantità è espressa in mm (pioggia) o cm (neve) di spessore. La frequenza, invece, rappresenta il numero dei giorni in cui si verifica la precipitazione all'interno di un certo intervallo temporale prescelto.

Le precipitazioni meteoriche costituiscono un fattore difficilmente prevedibile in maniera dinamica: spesso infatti si ricorre a delle considerazioni di tipo standard, come indicato nella normativa, relative a giornata di media intensità.

⁴ Direzione ed intensità del vento assumono valori uniformi ad un'altezza di circa 400 metri di altitudine.

L'asse della Terra non è perpendicolare al piano dell'orbita ma inclinato rispetto a quest'ultimo in modo da formare un angolo di $66,5^\circ$. Durante il moto di rivoluzione terrestre l'asse della Terra si mantiene sempre parallelo a se stesso. Le conseguenze più evidenti di questa situazione sono:

Stagioni

- l'alternarsi delle stagioni;
- la differente altezza del sole sull'orizzonte;
- la diversa durata tra il periodo di luce legato al giorno solare e quello sidereo.

L'angolo verticale con cui i raggi del sole colpiscono la superficie terrestre si chiama angolo di altitudine ed è direttamente correlato alla latitudine geografica. Il caso più particolare per calcolare quest'angolo si verifica a mezzogiorno del giorno degli equinozi, quando cioè i raggi del sole sono perpendicolari all'equatore. L'angolo con cui i raggi del Sole incidono sulla Terra determina due importanti conseguenze sul soleggiamento: nel caso di angoli bassi di altitudine i raggi del Sole attraversano più facilmente l'atmosfera e di conseguenza la radiazione che colpisce la superficie sarà notevolmente diversa.

Ore del giorno

La localizzazione e l'orientamento di un edificio sono fattori da considerare con attenzione per una progettazione insediativa volta al controllo dell'esposizione solare estiva ed invernale.

Orientamento

È possibile raggiungere tali intenti analizzando le ipotesi progettuali localizzative e tipologiche in rapporto al contesto ambientale specifico e, in particolare, alle variabili solari locali. A questo proposito vengono in aiuto tabelle di riferimento (tab. 3.1) che raccolgono, in maniera semplificata, l'esposizione consigliata e l'individuazione delle destinazioni d'uso dei singoli ambienti che caratterizzano un complesso edilizio.

Ambiente	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Camera da letto	√	√	√	√	√	√		
Soggiorno				√	√	√		
Pranzo			√	√	√	√	√	
Cucina			√	√	√	√		
Ripostiglio	√	√						√
Garage	√	√						√
Veranda				√	√	√	√	

Tab. 3.1 – Indicazioni di carattere generale utili per un'analisi delle migliori esposizioni per gli ambienti aventi determinate destinazioni d'uso.

Alcune procedure di calcolo del fabbisogno, in relazione all'esposizione, si basano sulla suddivisione dell'edificio in zone climatiche distinte: sostanzialmente zone più calde e più fredde. Attraverso l'orientamento del fabbricato in direzione est-ovest, si favorisce lo sfruttamento passivo dell'energia solare, senza l'utilizzo di sistemi

meccanici di trasformazione dell'energia radiante solare, attraverso l'impiego di serre solari. In generale una rotazione fino a 15 gradi dell'edificio dal sud geografico non comporta sensibili riduzioni nel guadagno termico. Questo significa, principalmente, lasciar entrare la radiazione solare durante l'inverno ed escluderla durante l'estate. D'inverno, quando il sole è basso nel cielo, i raggi penetrano nelle aperture della facciata sud e riscaldano naturalmente gli ambienti. Durante le ore di luce il calore viene accumulato per inerzia termica o per effetto serra (vedi paragrafi 4.2.8 e 4.2.3) dell'involucro. Il calore immagazzinato continuerà ad irradiare nello spazio interno anche dopo il tramonto.

Ecco perché la prassi costruttiva vuole che le parti a sud siano in grado di sfruttare e controllare la radiazione solare mentre il lato nord, che costituisce un elemento di dispersione termica, presenti livelli prestazionali di isolamento termico più elevati. Le finestre ad ovest possono essere protette con schermature verticali, per impedire in estate l'ingresso di radiazioni solari nelle ore più calde.

Allo studio dell'orientamento dell'edificio, in relazione all'evoluzione del sole nell'arco della giornata, è assolutamente necessario affiancare l'analisi dell'ombreggiatura da parte di altri edifici ed elementi paesaggistici (alberi, costruito), nonché le verifiche delle ombre generate dall'edificio stesso. A tal proposito si rimanda ad una trattazione specifica al paragrafo 4.2.7.

L'ombreggiatura di un'area può essere determinata disegnando l'orizzonte locale nel diagramma solare. L'orizzonte si misura solitamente usando un teodolite. Il primo permette una lettura diretta dell'orizzonte sullo schermo dell'apparecchio, mentre con il secondo si deve stabilire, per ogni singolo punto dell'orizzonte, l'angolo azimutale e l'angolo d'altezza.

Nella progettazione degli involucri evoluti a comportamento dinamico, lo studio del contesto macroclimatico è significativo per l'individuazione e valutazione di parametri utili alla progettazione dell'involucro stesso. Sono riportati di seguito, le modalità e gli elementi che correlano i fattori ai parametri e alla progettazione.

Per quanto riguarda la radiazione, si deve sottolineare l'andamento ciclico dell'intensità radiativa che colpisce l'involucro, ma che è spesso condizionata dalle condizioni meteorologiche. L'irradiazione solare giornaliera media mensile è un valore utile per le considerazioni relative alla potenza termica per irraggiamento, alla creazione dell'effetto serra e dell'effetto camino.

Anche la componente del vento potrebbe influire, positivamente o negativamente a seconda delle stagioni, nel bilancio termico di un involucro: in estate, ad esempio, costituisce un guadagno gratuito per la ventilazione dell'aria di intercapedine o per la

temperatura superficiale della pelle esterna. In inverno invece, in un clima come quello della Pianura Padana, potrebbe svolgere un ruolo significativo nella regolazione dell'umidità relativa esterna.

Nelle due stagioni di maggiore crisi per la progettazione di un involucro, l'inverno e l'estate, la normativa considera solo ed esclusivamente i carichi di picco dell'irraggiamento solare nella condizione più estrema e sfavorevole. La complessità di un calcolo più veritiero e coerente con il reale comportamento dell'alternarsi delle stagioni, dei mesi e delle ore del giorno ha indotto ad una semplificazione nella valutazione delle prestazioni degli involucri. La norma limita la verifica del comportamento termo – igrometrico delle due pelli a due giorni specifici: il 21 dicembre e il 21 luglio, cioè nei due solstizi d'estate e d'inverno. Risulta piuttosto chiaro come un alternarsi così complesso di irraggiamento solare, venti, stagioni, ore del giorno ed orientamento non possa essere risolto efficacemente attraverso l'analisi di soli due giorni. Di seguito si tenterà di fornire elementi di possibile discussione in merito a tale problema.

3.1.2 Morfologia dell'intorno

La morfologia dell'intorno è caratterizzata da specifiche condizioni del luogo di applicazione dell'involucro e dal reperimento di ulteriori informazioni di carattere ambientale.

La morfologia dell'intorno definisce il livello di applicazione di un involucro evoluto a comportamento dinamico. La localizzazione di quest'ultimo permette, infatti, di esaminare dettagliatamente le variabili che possono influenzare in maniera diretta il funzionamento complessivo della facciata.

Attraverso la contestualizzazione delle condizioni climatiche generali entro un limitato ambito planivolumetrico, è possibile desumere le variabili di cui sopra. Le condizioni microclimatiche risultano costituite e influenzate dalle seguenti variabili:

- orografia del terreno;
- vegetazione
- presenza di un contesto urbanizzato

Si tratta delle caratteristiche del terreno intorno all'area di progetto in grado di modificare i parametri macroclimatici dedotti dalle banche dati.

Orografia del terreno

Per quanto riguarda l'Emilia Romagna, le condizioni di variabilità dei dati macroclimatici generali si verificano principalmente nelle aree collinari. Ad esempio, i parametri relativi al vento possono risultare sensibilmente alterati a causa della deviazione obbligata delle masse d'aria per opera di rilievi: un rilievo esposto a sud

riceve maggiore radiazione solare di uno esposto a nord in quanto risulta sottoposto ad una maggiore radiazione solare. I pendii esposti a ovest sono più caldi di quelli esposti ad est, perché le fasce orarie in cui è presente la radiazione solare più intensa coincidono con le temperature elevate del pomeriggio. Nelle zone più basse tende ad accumularsi l'aria più fredda e umida, spesso sotto forma di nebbia che riflette la radiazione solare, mantenendo ridotte le temperature diurne.

Risulta pertanto indispensabile analizzare le caratteristiche orografiche dell'area oggetto di applicazione dell'involucro per valutare quegli effetti che, in modo specifico, possono introdurre sensibili variazioni nell'irraggiamento, nel regime dei venti, nelle temperature e nell'umidità dell'aria antistanti l'involucro.

Discorsi analoghi possono essere fatti per quanto riguarda le caratteristiche del suolo di una determinata area e delle superfici antistanti l'involucro. Questi possono modificare i parametri relativi alle temperature e all'irraggiamento: la presenza di ampie superfici pavimentate, tipiche dei centri urbani, comporta, ad esempio, un sensibile aumento delle temperature dovuto alla capacità termica dei materiali per pavimentazione di assorbire calore per poi cederlo per convezione all'aria circostante. Inoltre, tale condizione del suolo, incrementa il cosiddetto albedo, ovvero la quota di energia solare di irraggiamento riflessa a terra, modificando i dati relativi alla luminosità dell'intorno.

Vegetazione

Questo parametro è direttamente legato al precedente: la presenza di aree prospicienti i fabbricati destinate a verde riduce, infatti, l'albedo, con una conseguente variazione sia delle temperature che dell'irraggiamento, ma con un sensibile aumento del tasso di umidità, da valutare attentamente in zone a clima umido come la Pianura Padana. Inoltre, la vegetazione ha una duplice validità: da un lato per la presenza di alberature, può influenzare direttamente la quota di irraggiamento diretto sull'involucro attraverso la creazione di zone d'ombra mutevoli al variare delle ore della giornata e delle stagioni, dall'altro consente anche di ottenere schermature naturali all'azione dei venti e dell'inquinamento acustico.

L'effetto di raffrescamento prodotto dalla riduzione della radiazione solare diretta dipende da differenti caratteristiche della vegetazione. Per definire la funzione di ombreggiamento, e quindi di raffrescamento, può risultare utile considerare differenti caratteristiche della vegetazione: tra piante sempreverdi e caducifoglie, l'estensione e la posizione al suolo della zona d'ombra prodotta⁵. La vegetazione svolge un ruolo

⁵ “Per lo stesso tipo di specie arboree, la zona d'ombra è tanto più vicina alla base dell'albero, quanto più è elevata l'altezza solare, ovvero più ci si avvicina al mezzogiorno solare e al solstizio d'estate. Alle basse latitudini il sole si mantiene alto per buona parte della giornata

significativo anche nei confronti dell'effetto del vento: a differenza delle costruzioni solide, la vegetazione è più efficace nell'assorbire l'energia del vento che nel deviarne il flusso. Le siepi, i cespugli e le file di alberi causano un'alterazione del profilo della velocità del vento in atmosfera libera, in funzione della loro forma, altezza e porosità.

La presenza di un contesto urbanizzato agisce in maniera diretta sul microclima: fattori specifici di vincolo, riferiti alle caratteristiche del contesto dell'intorno dell'edificio e dell'ambito urbano possono essere evidenziali come fattori di influenza importanti.

Presenza di un contesto urbanizzato

Le caratteristiche delle costruzioni presenti in adiacenza all'involucro definiscono una serie di fattori che modificano direttamente i parametri climatici. Sono da citare, ad esempio, le caratteristiche planivolumetriche degli edifici circostanti che possono:

- alterare le condizioni di irraggiamento diretto della facciata;
- creare specifiche turbolenze a causa della deviazione delle generali direttrici del vento;
- aumentare la temperatura dell'aria (a causa della presenza di ampie superfici che fungono da accumulatori di calore);
- definire particolari condizioni di inquinamento acustico e dell'aria.

Inoltre nelle grandi città, l'effetto combinato di tutte le strutture costruite provoca una forte variazione climatica rispetto alle condizioni di un contesto non urbanizzato: negli ambienti costruiti, la temperatura dell'aria è tendenzialmente superiore e l'umidità relativa inferiore, rispetto quelli non edificati⁶.

estiva, per cui solamente una chioma particolarmente ampia e ombrelliforme - quale quella del pino marittimo o della palma - può avere un'effettiva funzione di raffrescamento del suolo, delle superfici e dell'aria sottostanti la chioma stessa. Tali specie arboree, avendo l'attacco della chioma piuttosto alto, consentono il passaggio delle brezze al suolo, che contribuisce ulteriormente al raffrescamento del sito. In luoghi posti alle medie latitudini, come il contesto geografico di riferimento, anche chiome ampie e non necessariamente ombrelliformi hanno effetti significativi di ombreggiamento, in quanto il periodo giornaliero estivo di surriscaldamento si estende ben oltre il mezzogiorno oltre, raggiungendo il culmine nel medio pomeriggio, quando all'altezza solare è relativamente lontano dallo zenith". Mottura, G., Pennisi, A., Progettare sistemi di protezione solare degli edifici, Maggioli, Rimini, 2006

⁶ "Per fare in modo che ciò accada, tuttavia, non è sufficiente la presenza di un edificio isolato in un ambiente naturale, ma è necessario che vi sia inserito un agglomerato edilizio di una certa entità. Inoltre, il modo in cui è trattato lo spazio interstiziale tra edifici influisce non poco sullo scambio radiativo ed evapo - traspirativo: un'area interamente cementata e asfaltata riduce di molto l'evapotraspirazione del terreno e incrementa l'emissione radiativa nel campo dell'infrarosso aumentando, quindi, la temperatura dell'aria nei bassi strati; un'area solo parzialmente pavimentata ha un effetto proporzionalmente più ridotto. Anche un singolo edificio, tuttavia, può avere effetti sul microclima e sul benessere degli spazi esterni, attraverso la temperatura radiante delle sue superfici che influenza il comfort". Grosso, M., *Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato*, Maggioli, Rimini, 2008.

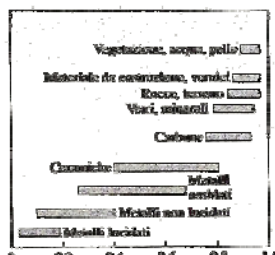


Figura 3.8 Campi tipici di emissività per vari materiali

Nei centri urbani la temperatura media annua risulta più alta di 1,5°C ed in inverno di quasi 3°C. La radiazione solare si riduce di circa il 20% a causa dell'inquinamento atmosferico e l'umidità relativa risulta minore del 6% rispetto alle aree extraurbane per la ridotta presenza di vegetazione⁷.

Lo scambio radiativo tra superfici costruite ed atmosfera è principalmente funzione di:

- coefficienti di assorbimento e riflessione dipendenti dal loro colore e dal materiale di cui è composto l'involucro;
- grado di ombreggiamento delle superfici, dipendente dalla forma, dall'orientamento e dalla collocazione reciproca degli edifici e della vegetazione.

I coefficienti di assorbimento e riflessione di alcuni materiali comunemente impiegati in edilizia sono indicati nel grafico di figura 3.8. Per quanto riguarda l'ombreggiamento, invece, deve essere valutato caso per caso, sfruttando modelli di ombreggiamento.

3.1.3 Contesto microclimatico

Quest'ultima categoria è costituita dai parametri relativi alle condizioni climatiche specifiche di un determinato intorno dell'edificio in cui si applica un involucro evoluto a comportamento dinamico e comprende una serie di informazioni principalmente legate alla temperatura e all'illuminazione⁸.

Le variabili per la caratterizzazione del microclima in una data località sono :

- la luminanza del cielo;

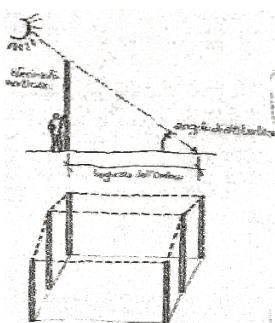


Figura 3.9 Schema per la determinazione del modello delle ombre

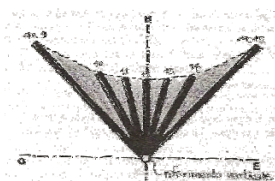


Figura 3.10 Schema delle ombre determinate da un riferimento verticale tra le 9 e le 15

⁷ Un altro dato rilevante è fornito dallo studio dell'ombreggiamento di elementi presenti nel contesto dell'edificio. *"Per studiare l'ombreggiamento di un sistema da applicare in facciata può essere utile costruire il modello delle ombre, che si compone di tutte le ombre che si possono verificare durante le ore invernali. Le ore di massima insolazione, nel periodo invernale, sono dalle 9 alle 15: durante questo periodo più dell'80% della radiazione ha la massima incidenza sulle superfici esposte dell'edificio. Il modo più semplice per rappresentare il modello delle ombre è esaminare l'esposizione da un elemento verticale predefinito durante il giorno 21 dicembre ad una latitudine di 36° Nord. Il modello che ne risulta (fig. 3.9) mostra delle zone più scure che rappresentano le ombre prodotte dal riferimento per ogni ora nell'intervallo dalle 9 alle 15. Il modello delle ombre risulterà più lungo a latitudini maggiori e più corto a latitudini minori. Nel caso di un edificio sarà sufficiente prendere come riferimenti dei poli verticali e costruire le ombre relative (fig. 3.10). Questo modello, applicato ai singoli edifici consente di capire a priori il tipo di soleggiamento di cui godrà il singolo edificio ma, soprattutto, il gruppo di edifici che risulteranno relazionati tra loro dall'insieme delle ombre proiettate"*.

Mottura, G., Pennisi, A., *Progettare sistemi di protezione solare degli edifici*, Maggioli, Rimini, 2005

⁸ *Microclima: rappresenta il clima tipico dell'intorno edilizio, per un'estensione orizzontale di qualche centinaio di metri, e verticale corrispondente all'altezza media delle piante, in zone extraurbane, e degli edifici in zone urbane.*

Grosso, M., *Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato*, Maggioli, Rimini, 2008

- il fattore di luce diurna;
- la temperatura dell'aria esterna;
- l'umidità relativa esterna.

La luminanza del cielo descrive le condizioni esterne di luminosità ai fini della definizione della qualità e quantità di luce naturale all'interno degli ambienti. Ad una prima valutazione, questo fattore potrebbe essere descritto come una caratteristica macroclimatica; si deve però prendere in considerazione anche la sua naturale variabilità in funzione della specifica localizzazione, ovvero in funzione del tipo di suolo, dell'ombreggiamento, ecc.

Luminanza del cielo

Esistono diversi modelli di luminanza del cielo che possono essere adottati per definire le condizioni esterne di luminosità. Generalmente, si valuta il modello cosiddetto di "cielo coperto" in quanto costituisce la condizione rappresentativa mediamente favorevole, anche se per i climi mediterranei, possono risultare determinanti le condizioni di "cielo parzialmente coperto" e "cielo sereno".

Il fattore di luce diurna (*daylight transmission factor*) indica la percentuale di luce (lunghezza dell'onda 320-780 nm) che passa attraverso il vetro. Pannelli isolanti vetrati hanno un fattore di trasmissione del 70%. I costanti cambiamenti delle condizioni climatiche esterne sia nell'arco dell'anno che della giornata sono molto differenti tra loro, pertanto la pelle esterna si trova a rispondere a requisiti diversi e spesso contrastanti tra loro allo scopo di mantenere condizioni confortevoli all'interno degli ambienti. Il fattore di luce diurna rappresenta il parametro di riferimento per molti strumenti regolamentari comunali per la determinazione dell'illuminazione necessaria all'interno dei vani.

Fattore di luce diurna

La temperatura dell'aria, a scala microclimatica, dipende e varia sensibilmente in funzione di differenti parametri, quali:

Temperatura dell'aria esterna

- il contesto orografico dell'intorno dell'edificio;
- l'esposizione ai venti⁹;
- la temperatura fittizia aria-sole.

Un parametro interessante per la valutazione della temperatura dell'aria esterna è fornito dai *gradi ora*: si tratta di un'unità empirica, che esprime la differenza di temperatura oraria fra la temperatura di esercizio e la temperatura media esterna giornaliera, quando questa si alza sopra la temperatura di riferimento. I gradi ora

⁹ La presenza del vento influisce sulle temperature, sia trasportando aria a specifiche temperature che raffreddano o riscaldano la superficie terrestre per convezione.

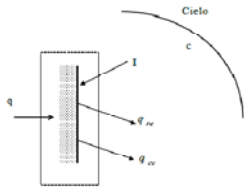


Figura 3.11 Scambi termici di una parete esterna soleggiata.

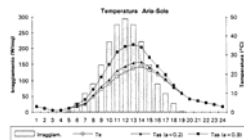


Figura 3.12 Andamento della temperatura aria-sole per $a=0.2$ e $a=0.9$ per un dato irraggiamento

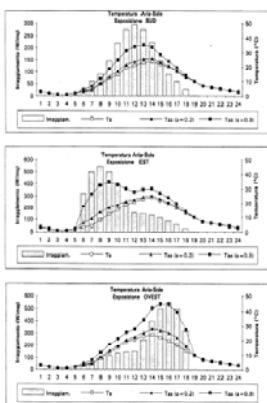


Figura 3.13 Temperatura aria-sole per $a=0.2$ e $a=0.9$ ed esposizione Sud, Est ed Ovest

possono essere utilizzati per prevedere il fabbisogno energetico stagionale di un edificio per il suo raffrescamento: si tratta però di un parametro non ancora contemplato da riferimenti normativi; questi ultimi si basano invece sui gradi giorno¹⁰. Anche la temperatura Aria-sole influisce in maniera significativa sulla determinazione della temperatura esterna: si tratta di una temperatura fittizia che tiene conto contemporaneamente sia degli scambi termici (conduttivi e convettivi) con l'aria esterna che dell'irraggiamento solare ricevuto. La temperatura esterna nelle zone soleggiate viene percepita più elevata rispetto a quelle in ombra. La valutazione della temperatura aria-sole fornisce indicazioni utili alla comprensione di questo fenomeno: si supponga di avere la parete esterna di figura 3.11 soggetta ai flussi termici indicati e all'irraggiamento solare I . Il bilancio energetico complessivo sull'involucro è in funzione dell'assorbimento dei materiali che compongono l'involucro, dell'irraggiamento solare I e dello scambio convettivo (cioè delle differenze di temperature interna - esterna). Si definisca ora la Temperatura aria-sole *"quella temperatura fittizia dell'aria esterna che produrrebbe, attraverso una parete in ombra, lo stesso flusso termico che si ha nelle condizioni reali, ossia sotto l'azione simultanea della temperatura esterna e della radiazione solare"*¹¹.

Per trovare la temperatura Aria-Sole (T_{as}) è sufficiente imporre che il flusso reale q sia uguale al flusso termico che si avrebbe per una parete in ombra a contatto con l'ambiente esterno a temperatura T_{as} . Di conseguenza anche la temperatura aria-sole dipende dal *fattore di assorbimento* dei materiali, dalle *capacità di scambio convettivo* e dall'irraggiamento solare. Nelle figure 3.12 e 3.13 si ha modo di osservare come T_{as} vari al variare di questi parametri. Si osservi, in Figura 46, come la temperatura aria-sole sia legata all'esposizione della parete e quindi al suo irraggiamento solare.

¹⁰ Con questa unità di misura si indica il fabbisogno termico di una determinata area geografica relativa alle vigenti normative sul riscaldamento/raffreddamento delle abitazioni. Il valore numerico rappresenta la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale, delle sole differenze positive (o negative) giornaliere tra la temperatura convenzionale, fissata in Italia a 20°C, e la temperatura media esterna giornaliera. Un valore di Gradi Giorno basso indica un breve periodo di riscaldamento/raffreddamento e temperature medie giornaliere prossime alla temperatura fissata per l'ambiente. Al contrario, valori di Gradi Giorno elevati, indicano periodi di riscaldamento/raffreddamento prolungati e temperature medie giornaliere nettamente inferiori/superiori rispetto alla temperatura convenzionale di riferimento.

¹¹ Cammarata, G., *Impianti termotecnici*, vol. I, Università degli Studi di Catania, Facoltà di Ingegneria, Catania, 2009

Il parametro dell'umidità relativa indica quale sia la percentuale di vapore d'acqua contenuto nell'aria in rapporto alla massima contenibile ad una determinata temperatura: se l'umidità assoluta rimane costante, tutte le variazioni di temperatura comporteranno quindi una variazione dell'umidità relativa.

Umidità relativa esterna

Generalmente, si assumono i valori medi mensili delle massime e minime giornaliere di temperatura dell'aria e dell'umidità relativa: i valori massimi e minimi giornalieri di quest'ultima corrispondono ai valori minimi e massimi della prima.

3.2 Fattori interni richiesti come parametri per la progettazione dell'involucro edilizio

Si definiscono fattori interni quei parametri di vincolo che hanno origine nel rapporto di connessione tra l'edificio e il suo involucro.

L'involucro, quale elemento di filtro e allo stesso tempo chiusura tra interno ed esterno, deve fare riferimento congiuntamente sia alle singole unità ambientali (prospicienti l'involucro) che all'intero organismo edilizio a cui queste ultime appartengono. L'unità ambientale rappresenta la più piccola unità di spazio significativa a livello tipologico, generalmente organizzata per essere fruita da un utente specifico o da un gruppo di utenti che fanno parte del nucleo di utenza, contenuto genericamente in una unità immobiliare.

L'organismo edilizio rappresenta, di conseguenza, l'aggregazione di unità immobiliari indipendenti, dotate di autonomia funzionale e collegate tra loro da spazi di circolazione e spazi di servizio.

I fattori interni che devono essere analizzati ai fini della valutazione del corretto funzionamento di un involucro si riferiscono alle variabili indotte dalla tipologia edilizia e dalla destinazione d'uso: i parametri da porre in relazione all'involucro evoluto a comportamento dinamico sono definiti dalle caratteristiche planimetriche, volumetriche e distributive interne del fabbricato. Tali caratteristiche possono essere riassunte attraverso la caratterizzazione della tipologia edilizia che, per le differenti destinazioni d'uso, descrive il fabbricato sia all'interno, attraverso una precisa organizzazione delle unità ambientali, che all'esterno, attraverso il conseguente riconoscimento di un determinato carattere costruttivo.

A ciò corrisponde una mirata definizione dell'involucro che deve considerare livelli prestazionali legati alle attività svolte e alle relazioni che lo connettono all'interno dell'intero organismo edilizio (posizione altimetrica, orientamento, attività svolte ai piani inferiori e superiori di ogni unità ambientale).

Il secondo compito di un involucro è il controllo dei grandezze termo-igrometriche per assicurare condizioni di comfort. I fattori guida, che rappresentano i cosiddetti fattori

di comfort interno e di cui se ne darà, in seguito, una definizione dettagliata, sono strettamente correlati tra di loro ed interdipendenti:

- fattori di comfort ambientale;
- fattori tipologici.

3.2.1 Fattori di comfort ambientale

Come più volte ricordato, la radiazione solare costituisce uno dei primi elementi che influiscono sul microclima interno di un ambiente, producendo però forti variazioni dello stesso e conseguenti ripercussioni vantaggiose o svantaggiose sul benessere abitativo. E' per questo che è necessario poter regolare l'irraggiamento solare degli ambienti in relazione al loro utilizzo e a diversi altri fattori climatici di seguito esaminati.

Il microclima interno è l'insieme dei fattori (es. temperatura, umidità, velocità dell'aria) che regolano le condizioni climatiche di un ambiente chiuso o semichiuso come, ad esempio, un ambiente di lavoro. Considerando che l'uomo trascorre la maggior parte del proprio tempo (circa il 75-80%) all'interno di edifici chiusi, è facilmente intuibile quale importanza rivesta la qualità del microclima. L'organismo umano deve mantenere sempre una costanza termica; variazioni della temperatura, oltre i normali limiti, determinano sofferenze delle principali funzioni fisiologiche. Il corpo umano deve inoltre difendersi dal calore assunto dall'ambiente, o dal calore emanato per radiazione da oggetti con temperatura superiore alla propria. E' chiaro, quindi, che la temperatura dell'aria e la presenza di masse radianti rivestono grande importanza nella valutazione del microclima.

Oltre a questi esistono anche dei fattori soggettivi¹² che contribuiscono al bilancio termico, quali la temperatura corporea interna, il vestiario, l'attività metabolica di base, l'attività fisica svolta, il sesso, l'età, ecc.

¹² "Per una valutazione dei parametri microclimatici interni, la sensazione soggettiva di benessere non dipende da uno solo dei relativi fattori ambientali e fisici, bensì dalla loro combinazione. Per esprimere questo concetto, sono stati studiati vari indici. Gli indici più significativi, noti come indici di Fanger, sono:

- PMV (predicted mean vote): esprime un voto medio espresso da un ampio campione di persone residenti nello stesso ambiente, che esprimono la propria sensazione termica attraverso una scala psicofisica che va da un valore +3 (molto caldo) fino a -3 (molto freddo) passando per situazioni intermedie in cui lo 0 corrisponde alla neutralità. Questo valore dipende da vestiario, temperatura dell'aria, attività svolta, temperatura media radiante, velocità dell'aria, umidità;

- PPD (predicted percentage of dissatisfied): è la percentuale prevista delle persone insoddisfatte ed esprime il numero di persone che sarebbero portate a lamentarsi delle condizioni climatiche riscontrate. Viene definito soggetto insoddisfatto quello che attribuisce all'ambiente in esame un valore del PMV pari a ± 3 , ± 2 .

Mottura, G., Pennisi, A., *Progettare sistemi di protezione solare degli edifici*, Maggioli, Rimini, 2005

I parametri da valutare invece riguardano:

- la temperatura in relazione all'attività svolta;
- l'umidità relativa dell'aria in ragione di un considerevole scambio termico tra l'utente e l'ambiente;
- gradiente di temperatura e di umidità da locale a locale;
- disomogeneità del livello di impegno fisico richiesto e del vestiario indossato dagli operatori.

In definitiva il comfort climatico e quindi il livello di benessere è il frutto di un interscambio continuo fra l'edificio e l'ambiente specifico in cui esso è collocato, le attività umane che vi si svolgono, la presenza o meno di piante e fonti inquinanti e di umidità. Le variabili per determinare tale interscambio, in una data località, sono:

- temperatura e umidità;
- illuminamento o luminosità degli ambienti;
- intensità luminosa o luminanza.

La temperatura di riferimento dell'aria interna, in situazione di comfort, varia da 20 a 25°C: anche temperature più basse (intorno ai 18°C) sono percepite come confortevoli quando i valori della temperatura delle superfici dei muri e dell'umidità relativa interna risultano equilibrati.

In estate, invece, l'uomo riesce a tollerare temperature fino a 27°C.

Per quanto possibile, la temperatura media delle superfici non dovrebbe differire più di 2-3°C rispetto alla temperatura dell'aria interna. Le temperature delle superfici circostanti non dovrebbero superare i 3-4°C (fig. 3.14). In relazione alla temperatura dell'ambiente, l'umidità relativa interna può variare dal 30 al 70%. Si definiscono come valori di umidità relativa interna confortevoli quelli compresi tra 40 e 60%.

I valori standard per la luminosità negli ambienti sono dipendenti dalle attività, dalla conformazione spaziale dell'ambiente e, nel caso di edifici per uffici, dalla distanza della postazione di lavoro dalle finestre. Per quanto riguarda quest'ultima destinazione d'uso, si prevedono valori tipici nell'ordine di 300 lux per posti di lavoro vicino alle aperture, 500 lux per uffici standard e 700 lux per uffici ad open space con un alto grado di superficie riflettente o 1000 lux per uffici ad open space con superficie riflettente media.

La qualità della luminosità in una stanza non è solamente influenzata dall'illuminazione ma anche dall'abbagliamento. L'intensità luminosa dovrebbe essere approssimativamente da 2/3 a 1/10 dell'intensità del campo luminoso interno.

Temperatura e umidità

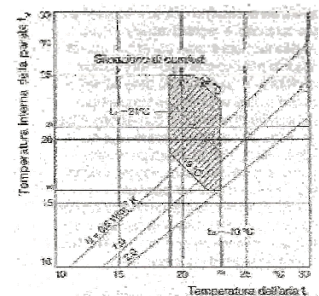


Figura 3.14 Parametri di comfort.

Illuminamento o luminosità degli ambienti

Intensità luminosa o luminanza di un ambiente

Inoltre è importante selezionare e posizionare protezioni dall'abbagliamento in maniera da poter distribuire la luce solare senza effetti abbaglianti, senza necessità di elementi refrigeranti nello spazio.

3.2.2 Fattori tipologici

La struttura e la forma di un involucro sono connesse alla conformazione della pelle esterna. Gli elementi portanti come le travi, i pilastri e le pareti determinano con la loro posizione il ritmo, la disposizione e le proporzioni dell'involucro. Le caratteristiche principali che definiscono la morfologia di una parete esterna sono la scelta dei materiali e delle superfici delle pareti la dimensione, la forma, la disposizione e la ripartizione della aperture. Nei prossimi paragrafi tali elementi verranno descritti, suddividendoli per:

- tipologia edilizia;
- destinazione d'uso.

Tipologia edilizia Al fine di indicare con chiarezza i parametri che esprimono il rapporto di connessione esistente tra l'edificio e l'involucro è necessario specificare quali sono le tipologie edilizie alle quali fare riferimento:



Figura 3.15 Esempio di edificio isolato, *Base operativa Luna Rossa*, Valencia, progetto di Renzo Piano Building Workshop



Figura 3.16 Esempio di edificio a schiera, *Plusenergiehäuser* a Friburgo – progetto di Rolf Disch Solar architektur

- edificio isolato, l'edificio isolato è caratterizzato da una volumetria ridotta, sia in termini di estensione planimetrica che di sviluppo verticale. Generalmente costituito da un'unica unità immobiliare, l'edificio isolato presenta una elevata autonomia distributiva interna e da caratteristiche dimensionali differenti. Tale autonomia si riflette anche nella definizione delle caratteristiche dell'involucro, in tutto il suo sviluppo attorno al fabbricato. La possibile applicazione di un involucro deve, conseguentemente, vincolare le sue prestazioni alla tipologia di spazi a cui le unità ambientali sono dedicate (fig. 3.15);
- edificio a schiera, l'organismo edilizio definito dalla tipologia a schiera, applicabile solamente alla destinazione d'uso residenziale, è caratterizzato da un rigido sviluppo planimetrico e da una ridotta elevazione verticale. Il modulo che delimita la singola unità immobiliare viene ripetuto lungo tutta l'estensione dell'edificio. Conseguentemente, la possibile applicazione dell'involucro deve relazionarsi solamente ai due prospetti principali del fabbricato, rispettando in ogni caso la categoria di spazi interna (attività principale, attività secondaria, circolazione e collegamento) (fig. 3.16);
- edificio in linea, l'organismo edilizio definito dalla tipologia in linea contempla, oltre a spazi di circolazione e collegamento comuni, la presenza

di più unità immobiliari. Lo sviluppo planimetrico è contraddistinto da una maggiore complessità distributiva rispetto alle tipologie precedenti: solitamente si denota una suddivisione longitudinale dello sviluppo planimetrico che divide differenti funzioni su due prospetti principali (solitamente attività principali e secondari per il terziario oppure zona giorno e zona notte per il residenziale). L'estensione verticale, invece, si stabilisce generalmente nella ripetizione modulare di un piano tipo (fino a tre, massimo quattro piani) (fig. 3.17);

- edificio a torre, la tipologia a torre risulta simile a quella in linea; ad uno spazio comune dedicato alla circolazione e al collegamento interni si aggiungono, per ogni piano dell'edificio, più unità immobiliari. La peculiarità di questa tipologia, in relazione all'involucro, è data dal notevole sviluppo altimetrico e dalla presenza di unità ambientali, destinate alle medesime attività, prospicienti i diversi prospetti dell'edificio (fig. 3.18).



Figura 3.17 Esempio di edificio in linea, Edificio residenziale, Rafael Moneo, Barcellona



Figura 3.18 Esempio di edificio a torre, Area fieristica di Hannover, progetto di Thomas Herzog, Monaco di Baviera

I parametri relativi alla destinazione d'uso identificano specifici requisiti che le unità ambientali, quali entità spaziali delimitate, devono possedere per permettere il corretto svolgimento delle attività per cui vengono predisposte. Conseguentemente, l'involucro, in qualità di frontiera verticale esterna, deve relazionarsi a questi parametri per contribuire al soddisfacimento di tali requisiti. Le destinazioni d'uso oggetto di analisi comprendono quelle attività che, per tipologia di funzione svolta, richiedono la predisposizione di unità ambientali relativamente semplici, nelle dimensioni e nell'organizzazione funzionale, a cui corrispondono generici requisiti di involucro.

All'interno di un organismo edilizio, destinato ad uno specifico uso, è possibile poi classificare le unità ambientali in esso contenute in funzione delle attività svolte. Utilizzando la generale suddivisione operata da molti Regolamenti Edilizi italiani, il sistema ambientale che compone un organismo edilizio può essere organizzato in categorie di spazi, ad ognuna delle quali corrispondono determinati requisiti.

Spazi di fruizione dell'utenza per l'attività principale

Per l'edilizia residenziale questi spazi sono identificati dalle unità ambientali destinate a cucina, soggiorno, pranzo, camere (zona giorno) e camere da letto (zona notte).

Per l'edilizia del terziario sono identificati dalle unità ambientali destinate allo svolgimento delle attività in relazione all'uso cui sono destinate, differente in funzione della tipologia di fruizione (uffici, negozi, ecc.).

Destinazione d'uso

Per ognuno di questi spazi corrispondono parametri ambientali interni specifici, che devono essere posti in relazione alla chiusura esterna; in particolare, devono essere considerati i seguenti:

- volume d'aria di ricambio per la ventilazione naturale;
- intensità di illuminazione naturale;
- microclima interno (temperatura, umidità);
- livello sonoro interno.

Spazi di fruizione dell'utenza per attività secondarie

Per entrambe le destinazioni d'uso questi spazi sono costituiti da unità ambientali di servizio all'attività principale svolta. Per l'edilizia residenziale, come per il terziario, questi spazi sono dedicati genericamente a bagni (o simili), depositi e ripostigli.

A questi spazi corrispondono parametri ambientali qualitativamente inferiori rispetto a quelli identificati per le attività principali.

Spazi di circolazione e collegamento della singola unità immobiliare

Sono definiti dai vani che svolgono la funzione di collegare, all'interno della singola unità immobiliare, le diverse unità ambientali (spazi di fruizione per l'attività principale e spazi di fruizione per l'attività secondaria).

Spazi di circolazione e collegamento dell'organismo edilizio

Sono definiti dai vani che, all'interno dell'organismo edilizio, collegano tutte le unità immobiliari in esso contenute.

Agli spazi di circolazione e collegamento, sia dell'unità immobiliare che dell'organismo edilizio, corrispondono parametri ambientali interni ulteriormente ridotti rispetto alle categorie destinate alle attività principali e secondarie.

Alla luce delle considerazioni appena descritte, si evidenzia come tutti i parametri di comfort possono essere controllati e regolati attraverso una corretta progettazione della facciata e della copertura: questi sono, infatti, parametri guida nella progettazione dell'involucro. Le temperature interne dell'aria e quelle medie delle superfici sono un risultato delle perdite di calore trasmesse e dello scambio tra variazioni di temperatura interna ed esterna. Il tasso di ricambio dell'aria può essere regolato in base al numero e alle dimensioni delle aperture per l'aerazione. I valori di illuminamento e luminanza sono, inoltre, influenzati dal tipo, dalla posizione e dal numero di aperture dell'involucro costruttivo. Si è dimostrato che un'attenta progettazione dell'involucro può essere decisiva per la creazione di un microclima di benessere all'interno dell'edificio, anche in condizioni climatiche esterne poco favorevoli.

3.3 Condizioni di confort e fabbisogno energetico: parametri e coefficienti

Dalle considerazioni fatte finora emerge che ogni parametro (temperatura, irraggiamento, vento, ecc.) produce effetti capaci di modificare gli altri; di conseguenza, per avere una panoramica integrale delle condizioni climatiche complessive di una specifica area, è necessario analizzarli congiuntamente.

A supporto della fase di analisi e valutazione dei parametri messi in campo, si ritiene utile un accenno a concetti di fisica tecnica, anche per un maggiore riscontro della validità scientifica delle ipotesi successivamente formulate.

Di seguito si definiscono, per cenni, alcuni parametri significativi tra i quali:

- la resistenza termica R ;
- la trasmittanza termica U ;
- il valore g ;
- il fattore di diminuzione z ;
- il coefficiente t_{vis} ;
- l'emissività ϵ ;
- lo sfasamento e l'attenuazione.

3.3.1 Resistenza termica R

La resistenza termica di una parete (resistenza alla conduzione) dipende dal materiale e dallo spessore: se lo spessore di una parete viene raddoppiato, anche la resistenza alla conduzione raddoppia. In passato, lo spessore dei muri era dunque il principale per aumentare questa resistenza; lo sviluppo di materiali isolanti permette di migliorare più efficacemente la resistenza alla conduzione in spessore di parete. I materiali isolanti apparsi alla fine del secolo scorso sotto forma di materiali di origine vegetale, sono spesso costituiti da fibre minerali o polimeri (polistirene o poliuretano). La resistenza alla trasmissione di calore di una parete si misura attraverso un coefficiente di resistenza termica R , espresso in m^2C/W .

I dati termici utili possono essere espressi sia sotto forma di conduttività termica utile che di resistenza termica utile.

Se è nota la conduttività termica, la resistenza termica dello strato si determina con la formula:

$R=d/\lambda$, dove d è lo spessore dello strato di materiale nel componente e λ è la conduttività termica calcolata secondo la normativa ISO/DIS 10456.2 oppure ricavata da valori tabulati, spesso forniti dalle stesse case produttrici il materiale. La

conducibilità o conduttività termica λ (in $W/m^{\circ}C$) permette di valutare la qualità intrinseca del materiale: può essere considerata come un flusso di calore in watt che attraversa $1m^2$ di materiale con spessore di 1m, in presenza di una differenza di temperatura di $1^{\circ}C$ tra le due facce del materiale in regime stazionario (si veda paragrafo 4.3).

Si ritiene inoltre utile soffermarsi sulla valutazione della resistenza termica di intercapedine d'aria valutata come da normativa UNI EN ISO 6946:1999. I valori forniti in si applicano ad una intercapedine d'aria quando:

- essa è limitata da due facce effettivamente parallele e perpendicolari alla direzione del flusso termico e con una emissività non minore di 0,8;
- il suo spessore (nella direzione del flusso termico) sia minore del 10% delle altre due dimensioni e comunque minore di 0,3 m;
- non scambino aria con l'ambiente interno¹³.

Intercapedine d'aria non ventilata

Un'intercapedine d'aria non ventilata è quella in cui non vi è una specifica configurazione affinché l'aria possa attraversarla. Le resistenze termiche da utilizzare nei calcoli sono fornite nel prospetto sotto riportato (tab. 3.2). I valori riportati, relativi al flusso termico orizzontale si applicano a flussi inclinati fino a $\pm 30^{\circ}$ in rapporto al piano orizzontale.

Spessore intercapedine d'aria mm	Senso del flusso termico orizzontale
0	0,00
5	0,11
7	0,13
10	0,15
15	0,17
25	0,18
50	0,18
100	0,18
300	0,18
Nota: I valori intermedi possono essere ottenuti per interpolazione lineare	

¹³ Se non fosse rispettata una delle condizioni menzionate, si dovrebbe ricorrere al procedimento descritto qui di seguito.

Il termine di intercapedine d'aria include sia lama d'aria (con una larghezza e lunghezza entrambe di dimensioni dieci volte più grandi dello spessore) sia cavità (con lunghezza e larghezza paragonabili allo spessore). Nel primo caso la resistenza termica di un'intercapedine d'aria è data da:

$$R_g = 1/(h_a + h_r),$$

dove R_g è la resistenza termica dell'intercapedine d'aria, h_a è il coefficiente di convezione e h_r è il coefficiente di irraggiamento.

Per quanto riguarda il flusso termico all'interno dell'intercapedine, h_a è il più grande tra i due valori $1,25 W/(m^2K)$ e $0,025/d W/(m^2K)$, dove d è lo spessore dell'intercapedine.

H_r invece è dato da $h_r = \epsilon h_{r0}$, dove ϵ è l'emissività tra due superfici e h_{r0} è il coefficiente di irraggiamento del corpo nero.

Tab. 3.2 - Resistenza termica (in m^2K/W) di intercapedini d'aria non ventilate: superfici ad alta emissività. Dal prospetto si evince che la normativa non prevede la valutazione di resistenza termica per intercapedini maggiori di 30 cm, per le quali non è possibile un semplice calcolo della trasmittanza termica. I flussi termici dovrebbero essere determinati preferibilmente con un bilancio termico, secondo quanto previsto dalla normativa ISO/DIS 13789:2005 *Prestazione termica degli edifici – Coefficiente di perdita del calore per trasmissione – Metodo di calcolo*.

Un'intercapedine d'aria debolmente ventilata è quella nella quale vi è un passaggio d'aria limitato, proveniente dall'ambiente esterno attraverso aperture $>500 \text{ mm}^2$ ma $\leq 1500 \text{ mm}^2$ per un metro di lunghezza per intercapedini d'aria verticali.

Intercapedine d'aria debolmente ventilata

La resistenza termica utile di un'intercapedine d'aria debolmente ventilata è uguale alla metà del valore corrispondente della tabella. 3.2. Tuttavia, se la resistenza termica tra l'intercapedine d'aria e l'ambiente esterno è maggiore di $0,15 \text{ m}^2K/W$, essa deve essere riportata al valore $0,15 \text{ m}^2K/W$.

Un'intercapedine d'aria è fortemente ventilata se le aperture tra l'intercapedine d'aria e l'ambiente esterno sono maggiori di 1500 mm^2 per metro di lunghezza delle intercapedini d'aria verticali. La resistenza termica totale di un componente per l'edilizia, contenente un'intercapedine d'aria fortemente ventilata, si ottiene trascurando la resistenza termica dell'intercapedine d'aria e di tutti gli strati che separano detta intercapedine d'aria dall'ambiente esterno. La normativa prevede che il calcolo della resistenza totale della parete includa una resistenza termica superficiale esterna corrispondente all'aria immobile (vale a dire uguale alla resistenza termica superficiale interna del medesimo componente).

Intercapedine d'aria fortemente ventilata

3.3.2 Trasmittanza termica U

La trasmittanza o conduttività termica U indica la quantità di energia/calore che, nelle condizioni di regime stazionario, passa attraverso una parete esterna per un metro quadrato e per un grado di differenza tra le temperature, misurata in W/m^2K . Più basso è il valore U, tanto migliore è l'isolamento.

Perciò la trasmittanza risulta essere uguale a : $U = 1/R_t$, dove R_t è la resistenza termica totale di un determinato involucro, dato dalle somme delle resistenze dei singoli componenti, in funzione delle resistenze di scambi superficiali¹⁴.

¹⁴ “Le resistenze di scambi superficiali (o più semplicemente “resistenze superficiali”) influenzano il coefficiente della trasmittanza U degli elementi di parete. Per esempio, per un vetro di 4 mm (caso tipico), il coefficiente U dovrebbe essere: $U = \lambda / e = 1/0,004 = 250 W/m^2K$. Per una piccola serra con una superficie vetrata di $30 m^2$, il coefficiente di dispersione per trasmissione globale dovrebbe essere: $H_T = U \cdot A = 250 \cdot 30 = 7500 W/K$. L'energia necessaria, a una prima stima, per una differenza massima tra interno ed esterno di $25^\circ C$ dovrebbe

Per i sistemi costruttivi verticali opachi, i valori standard si aggirano intorno a 0,3 W/m²K, valore facilmente raggiungibile con materiali isolanti standard di spessore variabile tra 12 e 16 cm. I vetri isolanti di nuova generazione possiedono valori d'isolamento di 1,4 W/m²K; con l'applicazione di materiali di riempimento, si raggiungono valori di trasmissione termica anche inferiori a 1,1 W/m²K. Nel caso di pareti traslucide o trasparenti esterne bisogna prendere in considerazione il potenziale di guadagno termico solare poiché questo può avere un impatto sul bilancio energetico totale (vedi paragrafo 4.2 sui fenomeni fisici correlati).

3.3.3 Valore G

Il coefficiente di trasmissione di energia solare o fattore solare g indica la percentuale della radiazione solare (di lunghezza d'onda 250-5000 nm, nanometri cioè tra 0,25 e 5 µm, micrometri) trasmessa attraverso pareti esterne trasparenti o traslucide. Tale valore è il risultato della somma della radiazione trasmessa e dell'emissione di calore dalla faccia interna all'interno dell'ambiente. Il coefficiente g può essere riferito alla trasmissione globale dell'energia solare (g_g) o alla sola radiazione solare perpendicolare alla superficie su cui incide. Il valore g dato da pannelli isolanti vetrati è di circa 60-80%.

3.3.4 Fattore di diminuzione z

Il fattore di riduzione (fattore z) è relativo ai sistemi di ombreggiamento ed indica la capacità di protezione solare degli stessi valutando la percentuale d'energia radiante

dunque essere uguale a: $P = H_t \cdot \Delta T_{\max} = 7500 \cdot 27 = 202500 \text{ W} = 203 \text{ kW}$, che corrisponde alla potenza di una caldaia per un edificio pubblico o un immobile per appartamenti.

Se fosse così, non ci sarebbe praticamente differenza tra finestre chiuse e finestre aperte, e sarebbe possibile riscaldare le stanze con molti elementi vetrati senza dispersioni. Allo stesso modo con alcuni muri vecchi poco spessi e tende, considerando soltanto la conduzione attraverso uno spessore, i bisogni energetici ottenuti attraverso il calcolo sarebbero molto elevati e praticamente impossibili da soddisfare. È grazie alle resistenze di scambi superficiali che è possibile riscaldare in maniera razionale l'interno di tali involucri. Infatti una vetrata verticale ha un coefficiente U all'incirca di 6 W/m²°C e non di 250 W/m²°C, essendo le resistenze di scambi superficiali esterna (R_e) ed interna (R_i) in W/m²°C. In questo fenomeno complesso intervengono principalmente l'irraggiamento e la convezione:

- l'irraggiamento avviene attraverso la facciata della parete e la sua intensità dipende dalla temperatura e da altre caratteristiche radiative dell'ambiente, come il colore e la composizione della parete stessa. Questa capacità di irradiare è chiamata emissività. Essa varia al variare delle lunghezze d'onda emesse. In questo modo le superfici metalliche brillanti hanno una debole emissività;
- la convezione è dovuta ai movimenti dell'aria a ridosso della parete; essa aumenta con il vento. La resistenza di scambi superficiali è maggiore quando la superficie irradia poco (bassa emissività) e l'aria è calma.

Un vento forte aumenta le dispersioni di una vetrata di 1/3 rispetto a un clima calmo, quelle di un muro di mattoni di 1/10 e di un muro isolato praticamente mai”.

Faragò, F. (a cura di), *Manuale Pratico di Edilizia Sostenibile*, Gruppo Editoriale Esselibri – Simone, Napoli, 2008

che li attraversa. Tale valore dipende dall'esposizione e dall'inclinazione del sistema di schermatura e consente l'immagazzinamento termico di radiazioni solari in un ambiente.

3.3.5 Coefficiente t_{vis}

Questo coefficiente indica la percentuale di luce naturale (lunghezza d'onda 320-780 nm) che attraversa il vetro: solitamente un vetro isolante possiede un fattore di trasmissione standard del 70%. Le escursioni di temperatura esterne giornaliere e stagionali determinano requisiti sempre variabili e spesso in conflitto tra loro ai quali l'involucro esterno deve reagire al fine di mantenere condizioni di benessere all'interno dell'edificio.

3.3.6 Emissività

Si definisce emissività di una superficie *il rapporto tra la radiazione emessa dalla superficie e la radiazione emessa dal corpo nero alla stessa temperatura*.

L'emissività di una superficie si indica con ϵ , varia tra zero e uno ($0 \leq \epsilon \leq 1$) ed è una misura di quanto una superficie reale approssima un corpo nero per il quale $\epsilon = 1^{15}$.

L'emissività di una superficie reale non è costante ma varia con la *temperatura* della superficie, con la *lunghezza d'onda* e con la *direzione* della radiazione emessa. Generalmente, il livello di assorbimento della radiazione solare delle superfici costruite, che tendenzialmente sono più chiare del contesto in cui sono inserite, è inferiore a quello del terreno vegetato, mentre è superiore la radiazione emessa nel campo dell'infrarosso è elevata anche per materiali tipici dell'edilizia come l'intonaco di calce.

3.3.7 Sfasamento e attenuazione

In merito ai livelli prestazionali di un involucro ottenibili nel periodo estivo, si possono determinare due indicatori quali: lo sfasamento (S), espresso in ore, ed il fattore di attenuazione (fa), coefficiente dimensionale. Il riferimento nazionale per il calcolo dei

¹⁵ "Un corpo a temperatura superiore allo zero assoluto emette radiazione in tutte le direzioni in un vasto campo di lunghezze d'onda. Poiché l'energia radiante emessa da una superficie a una data lunghezza d'onda dipende dal materiale del corpo e dalla condizione e temperatura della sua superficie, corpi diversi alla stessa temperatura possono emettere quantità differenti di radiazione per unità di area. Si definisce quindi un corpo ideale, detto corpo nero, che serve come riferimento rispetto al quale confrontare le proprietà radiative delle superfici reali. Un corpo nero è un perfetto emettitore e assorbitore di radiazione poiché emette la massima radiazione per ogni temperatura e lunghezza d'onda e assorbe tutta la radiazione incidente indipendentemente da direzione e lunghezza d'onda".

Cengel, Y., A., *Termodinamica e trasmissione del calore*, McGraw-Hill, Milano, 2005

predetti indicatori è la norma tecnica UNI EN ISO 13786:2001, dove i predetti parametri rispondono rispettivamente alle seguenti definizioni:

- a) *fattore di attenuazione* o fattore di decremento è il rapporto tra il modulo della trasmittanza termica dinamica e la trasmittanza termica in condizioni stazionarie; in questo caso è importante riuscire a controllare gli apporti termici solari attraverso la riduzione dell'assorbimento energetico delle superfici esposte alla radiazione solare;
- b) *sfasamento* è il ritardo temporale tra il massimo del flusso termico entrante nell'ambiente interno ed il massimo della temperatura dell'ambiente esterno. Sulla base dei valori assunti da tali parametri si definisce la classificazione riportata nella tabella 3.16¹⁶.

3.4 Elaborazione di uno schema per l'analisi esigenziale – prestazionale delle soluzioni di involucro

In uno scenario di riferimento così complesso, come quello appena delineato nel presente capitolo, emerge l'importanza del ruolo svolto dall'involucro edilizio, che deve rispondere a requisiti in materia di confort ambientale e risparmio delle risorse energetiche, costituendo la prima e necessaria cerniera di collegamento tra sistema ambientale e sistema tecnologico.

Nel settore residenziale, ad esempio, i consumi energetici sono fortemente legati alle condizioni demografiche: cresce il numero degli alloggi dotati di riscaldamento e crescono i consumi all'interno delle abitazioni anche a causa del ricorso al condizionamento estivo. Nonostante il basso livello tecnologico del settore da cui si è partiti in Italia negli anni 60, tra il 1975 e il 2000 il consumo medio per metro quadro di superficie riscaldata è diminuito di circa il 27%.

Le tecnologie sviluppate in funzione di un sempre maggiore risparmio energetico sono sempre più diffuse e cresce la consapevolezza dei cittadini sulla necessità di fare scelte, anche personali, che vadano in questa direzione. Le molte tecnologie utilizzabili riguardano sia l'impianto (con il ricorso al solare termico, al fotovoltaico, al geotermico, alle biomasse ed ai dispositivi ad alta efficienza energetica), che l'involucro edilizio (sistemi isolati di pareti opache e trasparenti, ricambio meccanico d'aria con recupero del calore diversamente disperso, tecnologie dell'edilizia bioclimatica).

¹⁶ Un altro interessante parametro è fornito dalla trasmittanza termica periodica (W/m^2K), è il parametro che valuta la capacità di una parete opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore, definita e determinata secondo le norme UNI EN ISO 13786:2001.

Questi involucri diventano sempre più macchine complesse, il cui funzionamento è regolato da sistemi tecnologici particolarmente avanzati, tali da regolare e controllare una serie di apparati meccanici capaci di adattare il rapporto delicato tra il clima esterno e quello interno: involucri automaticamente reattivi alle condizioni e alle sollecitazioni climatiche esterne, per i quali l'ambito di sviluppo più adatto è quello legato alla dinamicità del loro funzionamento e all'adattabilità alle variazioni al contorno. Risulta però difficile riuscire a delineare una griglia di analisi e valutazione dei sistemi suddetti. Il corpus normativo, seppur vasto, non è comunque in grado di fornire indirizzi e prescrizioni adeguati al raggiungimento di livelli prestazionali adeguati alla complessità della materia oggetto della ricerca. Sono però da sottolineare i relativamente recenti sviluppi in ambito normativo: gli strumenti legislativi e regolamentari, che disciplinano l'analisi esigenziale – prestazionale degli involucri genericamente intesi, hanno subito significativi aggiornamenti sia quantitativamente che qualitativamente. Questo ha avuto ripercussioni anche a livello comunale: a titolo d'esempio si riporta la tabella (tab. 3.3) dei requisiti volontari del regolamento edilizio tipo del Comune di Bologna del 2003 – allegato 6, uso razionale delle risorse climatiche ed energetiche – non più in vigore, sostituito dal RUE, in vigore dal 20 maggio 2009. Come dimostrato di seguito, si noterà che requisiti che un tempo venivano enumerati tra quelli volontari, oggi sono diventati cogenti). Sono però strumenti ancora non completi, non ancora in grado di fornire indicazioni relative alla dinamicità delle soluzioni ipotizzabili.

In questo contesto, la norma UNI EN ISO 13790:2008 rappresenta un traguardo: disciplina le prestazioni energetiche e il calcolo dei consumi di energia per il riscaldamento ed il raffrescamento ambientale, limitatamente all'involucro edilizio. Si tratta di uno standard internazionale, che contiene vari metodi di calcolo per il progetto e la valutazione delle prestazioni termiche ed energetiche, un insieme coerente di metodi per il calcolo, a vari livelli di dettaglio, dei fabbisogni energetici per il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici. Tale norma disciplina:

- i metodi di calcolo dello scambio termico per trasmissione e ventilazione dell'edificio quando riscaldato o raffrescato a temperatura interna costante;
- il contributo delle sorgenti di calore interne e solari al bilancio termico dell'edificio;
- i fabbisogni annuali di energia per riscaldamento e raffrescamento, per mantenere le temperature di set-point nell'edificio;
- l'energia richiesta annualmente dagli impianti di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio.

Le premesse per i metodi di calcolo previsti dalla UNI EN ISO 13790:2008 stabiliscono che:

- l'edificio possa avere diverse zone termiche (contrariamente alle UNI TS 11300:2008 che non considerano zone termiche) a differenti temperature di regolazione e un riscaldamento intermittente;
- i possibili intervalli di calcolo siano diversi - l'anno, il mese, l'ora. Per gli edifici residenziali, il calcolo può essere eseguito anche basandosi sulla stagione di riscaldamento/raffrescamento;
- si possa eseguire il calcolo dei fabbisogni netti di energia per il riscaldamento e il raffrescamento dell'edificio mediante metodi dettagliati di simulazione, che consentono di tenere adeguatamente conto dei fenomeni dinamici. L'utilizzo di tali metodi deve essere opportunamente validato in conformità alla UNI EN 15265:2008, che prevede appunto la possibilità del calcolo del fabbisogno per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti mediante metodi dinamici, calcolo spesso preferibile al più usato metodo mensile descritto dalle UNI TS 11300:2008, a patto che siano disponibili i dati climatici orari della località considerata.

Controllo dell'apporto energetico da soleggiamento estivo (ombreggiamento)	<p><i>Esigenza da soddisfare:</i> evitare il surriscaldamento estivo dell'organismo edilizio utilizzando l'ombreggiamento, senza contrastare l'apporto energetico dovuto al soleggiamento invernale.</p> <p><i>Livello di prestazione:</i> nel periodo estivo l'ombreggiamento di ciascuno degli elementi trasparenti delle chiusure esterne deve essere uguale o superiore dell'80%. Livello verificato alle ore 11, 13, 15, 17 del 25 luglio attraverso l'uso di maschere di ombreggiamento per il controllo di orientamento dell'edificio nel lotto, posizione, dimensione e caratteristiche delle chiusure trasparenti, degli oggetti esterni e di eventuali elementi di finitura nonché di eventuali elementi di vegetazione nelle pertinenze dell'organismo edilizio.</p>
Uso dell'apporto energetico da soleggiamento invernale	<p><i>Esigenza da soddisfare:</i> l'organismo edilizio favorisce l'apporto energetico gratuito del sole nel periodo invernale, pur non impedendo il controllo dell'apporto energetico dovuto al soleggiamento estivo.</p> <p><i>Livello di prestazione:</i> il soleggiamento di ciascuno degli elementi trasparenti delle chiusure degli spazi principali dell'organismo edilizio deve essere uguale o superiore all'80%. Il requisito è verificato alle ore 10, 12, 14 del 21 dicembre attraverso l'uso di maschere di ombreggiamento per il controllo di: orientamento dell'edificio nel lotto, posizione, dimensione e caratteristiche delle chiusure trasparenti, degli oggetti esterni e di eventuali elementi di finitura nonché di eventuali elementi di vegetazione nelle pertinenze dell'organismo edilizio.</p>
Risparmio energetico nel periodo invernale	<p><i>Esigenza da soddisfare:</i> gli edifici vanno realizzati e recuperati in modo da consentire una riduzione del consumo di combustibile per riscaldamento invernale, intervenendo</p>

	sull'involucro edilizio, sul rendimento dell'impianto di riscaldamento e favorendo gli apporti energetici gratuiti. <i>Livello di prestazione:</i> per nuove costruzioni e ristrutturazioni vengono fissati parametri da rispettare (coefficiente di dispersione termica Cd, trasmittanza K, rendimento globale medio stagionale dell'impianto di riscaldamento, rapporto tra l'indice volumico degli apporti gratuiti e l'indice volumico delle dispersioni).
Protezione dai venti invernali	<i>Esigenza da soddisfare:</i> diminuire la dispersione di calore nelle pareti maggiormente esposte dell'organismo edilizio proteggendole dai venti invernali, senza tuttavia impedire la ventilazione naturale estiva. <i>Livello di prestazione:</i> gli spazi chiusi dell'organismo edilizio destinati ad attività principali avranno chiusure esterne (pareti) esposte ai venti invernali prevalenti protette da barriere di vegetazione o artificiali ovvero il progetto utilizza la presenza di depressioni del terreno o rilievi naturali o edifici preesistenti per ottenere tale protezione.
Ventilazione naturale estiva	<i>Esigenza da soddisfare:</i> raffrescare gli spazi dell'organismo edilizio e diminuire la percentuale di umidità presente al fine di assicurare il benessere igrotermico nel periodo estivo, utilizzando la ventilazione naturale, senza impedire la protezione dai venti invernali. <i>Livello di prestazione:</i> ventilazione incrociata dell'unità immobiliare, con captazione dell'aria già raffrescata ovvero con captazione dell'aria dalle facciate esposte alle brezze estive prevalenti. Predisposizione di sistemi di aperture tra solai funzionali all'uscita dell'aria calda dall'alto e/o al richiamo di aria fresca da ambienti sotterranei.
Uso dell'inerzia termica per la climatizzazione estiva	<i>Esigenza da soddisfare:</i> l'organismo edilizio è progettato in modo da attenuare i massimi di energia entrante e da aumentare il ritardo con cui le variazioni di temperatura esterna si trasmettono all'interno. <i>Livello di prestazione:</i> fattore di inerzia termica (misura l'attitudine del contorno opaco di uno spazio ad accumulare calore e a trasmetterlo lenta mente e con ritardo verso lo spazio stesso) $> 1,5 \text{ (m}^2/\text{m}^2\text{)}$.
Uso dell'apporto energetico solare per il riscaldamento dell'acqua	<i>Esigenza da soddisfare:</i> riduzione del consumo di combustibile per il riscaldamento dell'acqua calda per usi sanitari e per il riscaldamento invernale. <i>Livello di prestazione:</i> installazione di impianto a pannelli solari dimensionato in modo da coprire l'intero fabbisogno energetico dell'organismo edilizio per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria, nel periodo in cui l'impianto di riscaldamento è disattivo. Integrazione dell'impianto a pannelli solari con un impianto di climatizzazione invernale a bassa temperatura (temperatura dell'acqua non superiore a 40°C).

Tab. 3.3 Schema dei requisiti volontari del regolamento edilizio tipo del Comune di Bologna del 2003, non più in vigore – Allegato B, Famiglia 6: uso razionale delle risorse climatiche ed energetiche.

Tra gli altri obiettivi già enunciati, la presente ricerca si pone anche quello di indicare elementi di possibile riflessione per lo sviluppo di un dibattito in merito ad un eventuale adeguamento degli strumenti di controllo e verifica dell'effettiva fattibilità di soluzioni di involucro evoluto a comportamento dinamico. Come premesso

nell'introduzione, la ricerca è strutturata sulle basi teoriche della fisica tecnica ambientale, relativamente all'interazione tra edificio e ambiente, ma non entra nel merito del dettaglio del calcolo matematico e formulistico: da esso prende spunto per fornire indirizzi di modifiche ed adeguamenti, da sviluppare successivamente con la collaborazione di esperti del settore di varie discipline tra cui anche la fisica tecnica. Sono stati presi in considerazione aspetti derivanti dalle ricadute normative oltreché gli aspetti più specificatamente tecnici e tecnologici. Per fornire ipotesi di modifica ed adeguamento si è seguito un iter di analisi e valutazione delle soluzioni esistenti secondo lo schema riportato nella tabella 3.4.

Tale modello deve essere applicato a sistemi in opera, ovvero a tecnologie di chiusura che possono essere analizzate e valutate direttamente in condizioni di esercizio. La necessità di applicare il modello su chiusure già realizzate deriva dall'esame di due aspetti sostanziali:

- ogni involucro realizzato costituisce una soluzione tecnica e costruttiva unica; non si tratta, infatti, di sistemi completamente industrializzati, ma facciate progettate attraverso la composizione e la sovrapposizione di più sistemi, assemblati in strati paralleli, a formare un'unica chiusura. Conseguentemente, le caratteristiche di ogni involucro variano da progetto a progetto, sia per i principi che ne regolano il funzionamento, sia per le soluzioni tecnologiche adottate che possono essere direttamente fornite da aziende differenti;
- ogni involucro realizzato è applicato in un unico e preciso contesto, sia esterno (fattori macroclimatici, morfologia dell'intorno e microclimatici), sia interno (caratteristiche tipologiche e di comfort ambientale interno). Ciò comporta che ogni soluzione di involucro realizzata offra prestazioni differenti, variabili in funzione dei fattori che influiscono sul comportamento dinamico del sistema tecnologico.

Il modello di analisi e valutazione vuole essere uno strumento applicabile per qualsiasi soluzione di chiusura evoluta realizzata e fa riferimento al singolo progetto. Il modello si compone di una serie di schede compilabili che permettono una semplice e univoca trattazione di ogni intervento edilizio.

Può essere considerato scomponibile in due parti distinte. La prima parte è dedicata all'analisi, sia del progetto in generale che della tecnologia di chiusura in particolare. La seconda parte è invece dedicata alla valutazione della chiusura in condizioni di esercizio.

Analisi degli elementi costitutivi di base. È stata predisposta la prima parte della tabella ordinata per famiglia di involucro: al suo interno sono previste le combinazioni possibili in base alla pelle esterna, interna e alla tipologia di facciata.

I successivi due step di analisi hanno l'obiettivo di identificare i fattori esterni ed interni all'involucro che possono influire sul funzionamento dinamico della chiusura in condizioni di esercizio.

Analisi fattori interni. Permette di identificare quali fattori, fissi e variabili, caratterizzano l'edificio.

Analisi fattori esterni. Permette di identificare quali fattori, fissi e variabili, caratterizzano il contesto ambientale esterno dell'edificio. Essi hanno influenzato le scelte progettuali del sistema tecnologico e influenzano il funzionamento dinamico di quest'ultimo nelle condizioni di esercizio.

Analisi elementi costitutivi complementari. Prevede tutti i possibili dispositivi complementari applicabili nell'involucro evoluto a comportamento dinamico; è possibile barrare più caselle, una per ogni dispositivo presente nel sistema progettato. Inoltre, è previsto uno spazio per note eventuali che possono descrivere al meglio i dispositivi, nei materiali impiegati e nel principio di funzionamento che adottano.

Analisi fenomeni fisici correlati alle singole pelli e all'involucro. I singoli materiali impiegati e la famiglia di involucro adottata, insieme alla presenza o meno di determinati dispositivi complementari, concorrono nel definire i fenomeni fisici che possono essere prodotti dall'involucro. La possibilità di verifica dell'involucro analizzato prima per singole componenti poi nel suo complesso, ha fornito significative informazioni per la successiva fase di elaborazione delle informazioni raccolte e quindi per l'individuazione di tecnologie e modelli applicativi.

Valutazione del livello di adattabilità ai fattori interni ed esterni. In questo caso si fa riferimento alla capacità del sistema tecnologico di rispondere in modo prestazionalmente corretto al modificarsi dei fattori esterni ed interni alla chiusura. Il livello, anche per queste tabelle, viene proposto attraverso una gerarchia di seguito specificata.

Valutazione delle prestazioni offerte. Si fornisce un giudizio qualitativo sui livelli prestazionali raggiunti dalle soluzioni di involucro analizzate, in funzione dei livelli di benessere richiesti all'interno dei vani; livelli che, naturalmente, dipendono dalla destinazione d'uso dell'edificio e dalla natura delle attività che vengono svolte nei vani che affacciano sull'involucro. Per una descrizione di maggiore dettaglio si rimanda alla trattazione seguente.

ANALISI ELEMENTI COSTITUTIVI DI BASE			
Famiglia di involucro	Sistema di facciata		Tipologia di facciata
	Pelle esterna	Pelle interna	
<i>Trasparente su Trasparente</i>	<div><input type="checkbox"/> Facciate continue tradizionali in vetro</div> <div><input type="checkbox"/> Facciate continue strutturali in vetro</div> <div><input type="checkbox"/> Facciate a sostegno puntiforme</div>	<div><input type="checkbox"/> Semplici infissi tamponati in vetro</div> <div><input type="checkbox"/> Facciate continue tradizionali in vetro</div>	<div><input type="checkbox"/> Tutta superficie</div> <div><input type="checkbox"/> Canali</div> <div><input type="checkbox"/> Singoli elementi</div>
<i>Trasparente su Opaco</i>	<div><input type="checkbox"/> Facciate continue tradizionali in vetro</div> <div><input type="checkbox"/> Facciate continue strutturali in vetro</div> <div><input type="checkbox"/> Facciate a sostegno puntiforme</div>	<div><input type="checkbox"/> Piccoli elementi semplici</div> <div><input type="checkbox"/> Piccoli elementi da realizzare in opera</div> <div><input type="checkbox"/> Grandi elementi per sistemi prefabbricati o preassemblati</div>	<div><input type="checkbox"/> Tutta superficie</div> <div><input type="checkbox"/> Canali</div> <div><input type="checkbox"/> Singoli elementi</div>
<i>Opaco su Opaco</i>	<div><input type="checkbox"/> Pannelli con rivestimento metallico</div> <div><input type="checkbox"/> Pannelli in ricomposto lapideo</div> <div><input type="checkbox"/> Pannelli in pietra naturale</div> <div><input type="checkbox"/> Pannelli in laminato plastico</div> <div><input type="checkbox"/> Pannelli in cotto</div> <div><input type="checkbox"/> Pannelli ceramici</div> <div><input type="checkbox"/> Pannelli in legno</div>	<div><input type="checkbox"/> Piccoli elementi semplici</div> <div><input type="checkbox"/> Piccoli elementi da realizzare in opera</div> <div><input type="checkbox"/> Grandi elementi per sistemi prefabbricati o preassemblati</div>	<div><input type="checkbox"/> Tutta superficie</div> <div><input type="checkbox"/> Canali</div> <div><input type="checkbox"/> Singoli elementi</div>
<i>Traslucido su Trasparente</i>	<div><input type="checkbox"/> Frangisole in materiale metallico</div> <div><input type="checkbox"/> Frangisole a lamelle orientabili in vetro</div> <div><input type="checkbox"/> Frangisole in cotto</div> <div><input type="checkbox"/> Frangisole in legno</div> <div><input type="checkbox"/> Frangisole in pietra</div> <div><input type="checkbox"/> Rete metallica</div>	<div><input type="checkbox"/> Semplici infissi tamponati in vetro</div> <div><input type="checkbox"/> Facciate continue tradizionali in vetro</div>	<div><input type="checkbox"/> Tutta superficie</div> <div><input type="checkbox"/> Canali</div> <div><input type="checkbox"/> Singoli elementi</div>
<i>Traslucido su Opaco</i>	<div><input type="checkbox"/> Frangisole in materiale metallico</div> <div><input type="checkbox"/> Frangisole a lamelle orientabili in vetro</div> <div><input type="checkbox"/> Frangisole in cotto</div> <div><input type="checkbox"/> Frangisole in legno</div> <div><input type="checkbox"/> Frangisole in pietra</div> <div><input type="checkbox"/> Rete metallica</div>	<div><input type="checkbox"/> Piccoli elementi semplici</div> <div><input type="checkbox"/> Piccoli elementi da realizzare in opera</div> <div><input type="checkbox"/> Grandi elementi per sistemi prefabbricati o preassemblati</div>	<div><input type="checkbox"/> Tutta superficie</div> <div><input type="checkbox"/> Canali</div> <div><input type="checkbox"/> Singoli elementi</div>
ANALISI FATTORI INTERNI			
Fissi		Variabili	
Tipologia edilizia	Destinazione d'uso generale del fabbricato	Categorie di vano che interfacciano con l'involucro	
<div><input type="checkbox"/> Edificio isolato</div> <div><input type="checkbox"/> Edificio a schiera</div> <div><input type="checkbox"/> Edificio in linea</div> <div><input type="checkbox"/> Edificio a torre</div>	<div><input type="checkbox"/> Residenziale</div> <div><input type="checkbox"/> Terziario</div>	<div><input type="checkbox"/> Spazi per attività principali</div> <div><input type="checkbox"/> Spazi per attività di servizio</div> <div><input type="checkbox"/> Spazi di circolazione e collegamento</div>	
ANALISI FATTORI ESTERNI			
Fissi		Variabili	
<div><input type="checkbox"/> Clima</div> <div><input type="checkbox"/> Orientamento</div> <div><input type="checkbox"/> Microclima</div>		<div><input type="checkbox"/> Ore del giorno: fruizione diurna del fabbricato</div> <div><input type="checkbox"/> Stagioni</div> <div><input type="checkbox"/> Variazioni meteorologiche</div>	
ANALISI DEGLI ELEMENTI COMPLEMENTARI			
Descrizione		Note	
<div><input type="checkbox"/> Dispositivi per la ventilazione dell'intercapedine</div> <div><input type="checkbox"/> Dispositivi di protezione solare e controllo dall'introspezione</div> <div><input type="checkbox"/> Sistemi di compartimentazione dell'intercapedine</div> <div><input type="checkbox"/> Sistemi per il collegamento diretto dei vani con l'intercapedine</div>			

<input type="checkbox"/> Sistemi per la fruizione dello spazio tra le pelli <input type="checkbox"/> Sistemi per la ventilazione meccanica dell'intercapedine <input type="checkbox"/> Sistemi per l'automazione	
ANALISI DEI FENOMENI FISICI CORRELATI ALLE SINGOLE PELLI	
Pelle esterna	Pelle interna
<input type="checkbox"/> Isolamento termico <input type="checkbox"/> Inerzia termica <input type="checkbox"/> Irraggiamento solare <input type="checkbox"/> Illuminazione <input type="checkbox"/> Isolamento acustico	<input type="checkbox"/> Isolamento termico <input type="checkbox"/> Inerzia termica <input type="checkbox"/> Irraggiamento solare <input type="checkbox"/> Illuminazione <input type="checkbox"/> Isolamento acustico
ANALISI DEI FENOMENI FISICI CORRELATI ALL'INVOLUCRO	
Naturali	Artificiali
<input type="checkbox"/> Effetto serra <input type="checkbox"/> Effetto camino <input type="checkbox"/> Controllo dell'irraggiamento solare <input type="checkbox"/> Controllo del flusso luminoso <input type="checkbox"/> Ventilazione naturale dell'intercapedine <input type="checkbox"/> Ventilazione naturale dei vani interni <input type="checkbox"/> Protezione dagli agenti atmosferici <input type="checkbox"/> Effetto tampone <input type="checkbox"/> Controllo del rumore	<input type="checkbox"/> Ventilazione meccanica dell'intercapedine <input type="checkbox"/> Ventilazione meccanica dei vani interni
VALUTAZIONE LIVELLO DI ADATTABILITA' AI FATTORI INTERNI	
Fissi	Variabili
<input type="checkbox"/> Tipologia edilizia <input type="checkbox"/> Destinazione d'uso	<input type="checkbox"/> Categorie di vano <input type="checkbox"/> Sistema distributivo
VALUTAZIONE LIVELLO DI ADATTABILITA' AI FATTORI ESTERNI	
Fissi	Variabili
<input type="checkbox"/> Clima <input type="checkbox"/> Orientamento <input type="checkbox"/> Microclima	<input type="checkbox"/> Ore del giorno <input type="checkbox"/> Stagioni <input type="checkbox"/> Variazioni meteorologiche
VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI OFFERTE	
Igiene, salute e benessere ambientale	Rumore
<input type="checkbox"/> Inserimento dell'edificio nel contesto <input type="checkbox"/> Tenuta all'acqua <input type="checkbox"/> Tenuta all'aria <input type="checkbox"/> Livello dell'illuminamento naturale <input type="checkbox"/> Temperatura superficiale e temperatura operante <input type="checkbox"/> Controllo della ventilazione <input type="checkbox"/> Protezione dalle intrusioni di animali nocivi	<input type="checkbox"/> Controllo dell'inquinamento acustico <input type="checkbox"/> Protezione dal rumore esterno
	Risparmio energetico
	<input type="checkbox"/> Contenimento dei consumi energetici invernali <input type="checkbox"/> Controllo dell'apporto energetico solare <input type="checkbox"/> Controllo dell'inerzia termica <input type="checkbox"/> Contenimento dei consumi elettrici

Tab. 3.4 Schema per l'analisi degli elementi costitutivi di un involucro evoluto a comportamento dinamico e per la valutazione dei requisiti ad esso associati.

A seguito di un confronto sistematico dei Regolamenti Urbanistici Edilizi dei principali comuni della Regione Emilia Romagna, si è riscontrato che la metodologia di controllo dei livelli prestazionali indicata nel RUE di Bologna fosse rappresentativa della maggior parte dei Regolamenti presi in esame. Si è pertanto basata la seconda parte, in particolare modo quella relativa alla valutazione delle prestazioni offerte, su quella del Comune di Bologna. Lo strumento regolamentare comunale è un elemento

che, per natura, nasce necessariamente legato ad una prassi costruttiva, progettuale e tecnologica tradizionale: si configura infatti come uno strumento di semplificazione, e talvolta di appiattimento, delle possibilità offerte dalla progettazione architettonica e tecnologica. Come, però già indicato nella delimitazione del campo di indagine (vedi Introduzione), si è ritenuto ugualmente interessante un confronto critico e ragionato con lo strumento urbanistico, puntando principalmente l'attenzione sui rimandi normativi regionali e alla normativa UNI. La tabella 3.4 è conseguente a tale lavoro di comparazione: l'obiettivo è quello di verificare se i fenomeni fisici correlati, oggetto di studio della presente ricerca, siano già presenti e valutati all'interno dei vigenti strumenti urbanistici comunali. Si è preferito suddividere la valutazione delle prestazioni offerte in tre differenti ambiti: uno relativo all'igiene, alla salute e al benessere ambientale, nel quale sono elencate le prestazioni offerte che vanno sostanzialmente a beneficio dell'utenza o comunque relative ad un ambito d'azione più ristretto; uno relativo al rumore, che valuta sia la protezione dal rumore proveniente dall'esterno, sia il controllo del rumore prodotto all'interno; infine uno relativo al risparmio energetico, nel quale vengono riportate le prestazioni di controllo dell'inquinamento ambientale – atmosferico.

È necessario inoltre riconoscere l'importanza relativa all'introduzione di significativi concetti: per quanto riguarda ad esempio il controllo dell'illuminazione naturale, il progettista ha la possibilità di scegliere due sistemi di verifica differenti, uno più complesso ma decisamente più preciso (il fattore di luce diurna medio) e uno più tradizionale e semplice (rapporto tra superficie vetrata e superficie del vano): è questa la distinzione tra parametri prestazionali convenzionali e sperimentali. Tale possibilità di scelta spesso comporta una definizione del livello prestazionale offerto dalle soluzioni tecnologiche attuate genericamente medio-basso. La presente ricerca vorrebbe suggerire elementi di possibile riflessione volta all'individuazione di parametri applicativi meno convenzionali e più sperimentali, utili nel caso di revisione di strumenti normativi esistenti.

Nell'analisi dei singoli casi approfonditi, ad ogni prestazione effettivamente raggiunta è stata associata una valutazione del livello prestazionale – buono, sufficiente, insufficiente – attraverso una simbologia colorata.

3.4.1 Livelli prestazionali di igiene, salute e benessere ambientale

In riferimento all'*inserimento dell'edificio nel contesto*, perché il requisito sia soddisfatto deve essere valutata la disponibilità di irraggiamento solare in riferimento alle diverse superfici dell'involucro dell'edificio di progetto con particolare riferimento

alle superfici trasparenti ed a quelle interessate dalla presenza di sistemi solari passivi o attivi (fotovoltaico o solare termico). La valutazione deve essere compiuta almeno per il 21 dicembre alle ore 10, 12 e 14 e per il 21 luglio alle ore 12, 14 e 16. I risultati di questa valutazione devono essere finalizzati alle scelte progettuali relative a forma e orientamento dell'edificio, distribuzione delle superfici trasparenti e collocazione dei sistemi solari.

In sede di progetto, lo stesso dovrà contenere uno studio del soleggiamento che analizzi le ombre portate e le ostruzioni prodotte dagli elementi naturali e artificiali, esistenti e di progetto. Tale analisi dovrà essere riferita all'intera area oggetto di intervento, evidenziando la esposizione solare nel periodo estivo ed invernale, e individuando le migliori soluzioni progettuali atte all'ottimizzazione del progetto rispetto al livello prestazionale richiesto. Devono essere riportati i dati sulla radiazione solare sulle superfici orizzontali e su quelle verticali esposte a sud, est ed ovest.

Criticità individuata ed elementi di possibile riflessione: la valutazione da compiere ("almeno per il 21 dicembre alle ore 10, 12 e 14 e per il 21 luglio alle ore 12, 14 e 16") risulta approssimativa. In contesti climatici, come quello considerato dalla presente ricerca, l'analisi dei comportamenti delle stagioni intermedie ricopre un ruolo importante in termini di funzionamento globale dell'involucro. Inoltre la limitazione a certe ore della giornata, nelle quali vi è presenza del *carico di picco* (vedi paragrafo 4.3), non rendono merito del comportamento complessivo dell'involucro, ma solo di una, seppur significativa, esigua porzione del problema.

Per la *tenuta all'acqua*, è necessario prevedere che la finitura superficiale delle pareti degli spazi nei quali possano verificarsi fenomeni di condensa superficiale o getti d'acqua sulle pareti stesse deve garantire l'impermeabilità. Gli infissi devono essere convenientemente scelti in ragione dei fattori di esposizione all'acqua dell'edificio (vento, posizione e altezza dell'edificio). I fenomeni di risalita d'acqua per capillarità dalle fondazioni, dai vespai e dalle altre strutture a contatto con il terreno devono tassativamente essere impediti.

Criticità individuata ed elementi di possibile riflessione: anche in questo caso, la previsione normativa fornisce sommarie e contraddittorie indicazioni. Il problema della tenuta all'acqua diventa un elemento di valutazione positiva se considerato negli involucri opaco su opaco, costituiti principalmente dalle facciate ventilate. La pelle esterna dell'involucro, infatti, prevede spesso giunti non perfettamente sigillati: le motivazioni risiedono da un lato nelle caratteristiche tecniche dei materiali impiegati, dall'altro invece nella necessità di un riscontro d'aria della facciata

ventilata per evitare fenomeni di condensa. La normativa potrebbe prevedere una distinzione del problema, in base al sistema costruttivo impiegato.

In riferimento al *livello dell'illuminamento naturale*, sia per edifici residenziali che non abitativi, perché il requisito sia soddisfatto, il fattore di luce diurna medio (FLDm, definito come rapporto, espresso in percentuale, fra l'illuminamento medio dello spazio chiuso e l'illuminamento esterno ricevuto, nelle identiche condizioni di tempo e di luogo, dall'intera volta celeste su una superficie orizzontale esposta all'aperto, senza irraggiamento diretto del sole):

- non deve essere inferiore al 2% negli spazi di attività principale e per almeno un bagno;
- non deve essere inferiore al 1% negli interventi sull'esistente.

Criticità individuata ed elementi di possibile riflessione: la normativa in questo caso prevede la possibilità di verifica tramite parametri di tipo convenzionale e non sperimentale (come invece richiesta dal fattore di luce diurna medio). Il progettista può infatti ricorrere al tradizionale rapporto di superficie illuminante e ventilante, in funzione della superficie dei vani interni. Le indicazioni normative inoltre sono limitate per quanto riguarda destinazioni d'uso di tipo terziario o specialistico. L'obiettivo potrebbe essere quello di puntare verso obbligatorietà di verifica tramite parametri sperimentali.

In riferimento alla prestazione *temperatura delle superfici interne*, perché il requisito sia soddisfatto, nel periodo di funzionamento dell'impianto di riscaldamento, la temperatura superficiale ϑ_i [°C] deve essere contenuta entro i limiti di seguito riportati.

Per le superfici interne opache il ϑ_i deve essere superiore alla temperatura di rugiada per le partizioni e chiusure, con particolare attenzione alle eventuali zone di ponte termico, degli spazi per attività principale, secondaria e spazi di circolazione e collegamento interni alle unità immobiliari, è consigliato che la temperatura delle pareti sia compresa in un intervallo di ± 3 °C rispetto alla temperatura dell'aria (è opportuno provvedere alla coibentazione delle superfici nelle quali possono formarsi ponti termici, quali colonne, montanti, velette, punti d'angolo, canne fumarie, ecc.);

Per le superfici vetrate e infissi, i valori della temperatura superficiale devono essere tali da evitare fenomeni di condensa non momentanea, relativamente agli spazi per attività principale, secondaria e spazi di circolazione e collegamento interni all'unità immobiliare.

In riferimento alla prestazione temperatura operante (o interna di benessere), perché il requisito sia soddisfatto, nel periodo di funzionamento dell'impianto di riscaldamento, la temperatura dell'aria interna t_i per gli spazi chiusi per attività principale e secondaria deve essere: $18^{\circ}\text{C} < t_i < 22^{\circ}\text{C}$; non deve inoltre presentare, misurata lungo la verticale dell'ambiente, in punti compresi tra metri 1,8 dal pavimento e metri 0,60 dal soffitto, differenze superiori a 2°C . La temperatura operante top per gli usi abitativi deve essere: $18^{\circ}\text{C} < t_{op} < 20^{\circ}\text{C}$.

Criticità individuata ed elementi di possibile riflessione: le temperature superficiali ed operanti vengono valutate solo *nel periodo di funzionamento dell'impianto di riscaldamento*. Come precedentemente descritto nel requisito di inserimento dell'edificio nel contesto, tale indicazione risulta limitante. Come si vedrà successivamente¹⁷, nelle stagioni intermedie, la possibilità di recuperare calore dall'intercapedine per portarlo all'interno dei vani rappresenta un apporto gratuito non previsto dalla normativa e per il momento non valutabile parametricamente.

In riferimento alla *ventilazione*, perché il requisito sia soddisfatto deve essere applicato quanto previsto nella D.A.L. 156/2008¹⁸ della Regione Emilia-Romagna, riportato di seguito. Per una efficace gestione delle aperture e dei sistemi per la ventilazione naturale nel periodo estivo devono essere assolte le seguenti condizioni (ove per "n" si intende numero di ricambi misurato in metri cubi d'aria ricambiati in un'ora):

- negli interventi di nuova costruzione, negli spazi per attività principale deve essere garantita la presenza di superfici apribili tali da permettere ricambi

¹⁷ Vedi capitolo 6 Controllo e verifica del comportamento dinamico di involucri evoluti: esperienze a confronto.

¹⁸ Allegato 3, requisito 6.4, punto D, dell'Atto di indirizzo e coordinamento regionale sui requisiti di rendimento energetico e sulle procedure di certificazione energetica degli edifici' (Delibera della Assemblea regionale 156/2008¹⁸ Regione Emilia-Romagna, in attuazione del Decreto legislativo 192/2005 e s.m.): *al fine di ridurre gli apporti termici durante il regime estivo e raffrescare gli spazi dell'organismo edilizio devono essere adottate soluzioni progettuali che garantiscano di utilizzare al meglio le condizioni ambientali esterne e le caratteristiche distributive degli spazi per favorire la ventilazione naturale dell'edificio, con particolare riferimento alla ventilazione notturna (free cooling).*

La ventilazione naturale può essere realizzata mediante:

- ventilazione incrociata dell'unità immobiliare,
- captazione di aria raffrescata da elementi naturali e/o facciate esposte alle brezze estive e/o da zona dell'edificio con aria raffrescata (patii, porticati, zona a nord, spazi cantinati, etc),
- camini di ventilazione o altre soluzioni progettuali e/o tecnologiche.

Nel caso che il ricorso a tali sistemi non sia praticabile o efficace, è possibile prevedere l'impiego di sistemi di ventilazione ibrida (naturale e meccanica) o ventilazione meccanica nel rispetto del comma 13, articolo 5, Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412.

discontinui in misura equivalente a quella necessaria al soddisfacimento del requisito della superficie illuminante per un $n > 0,2 \text{ mc/hmc}$;

- negli interventi su edifici esistenti, nell'impossibilità di garantire, per vincoli oggettivi, i rapporti tra superficie delle aperture e superficie di pavimento previsti per le nuove costruzioni nemmeno intervenendo sul numero e sulla dimensione delle aperture, è necessario garantire una superficie ventilata apribile (ricambi discontinui) equivalente a quella necessaria al soddisfacimento del requisito di superficie illuminante del corrispondente uso per l'edilizia esistente;

Criticità individuata ed elementi di possibile riflessione: la ventilazione viene qui considerato solo come fattore di riscontro d'aria. Nei sistemi per involucro oggetto della presente tesi di ricerca, la ventilazione è invece fondamentalmente relativa alla possibilità di avere aria ferma o in movimento all'interno di un'intercapedine. È però da notare¹⁹ come spesso la ventilazione d'intercapedine fornisca un contributo positivo al riscontro d'aria necessario all'interno dei vani. L'obiettivo potrebbe essere quello di individuare parametri sperimentali dei due differenti aspetti e correlarli tra loro, per verificare le reciproche influenze.

Ai fine del soddisfacimento del requisito di *protezione dalle intrusioni di animali nocivi* si precisa che tutte le aperture di aerazione devono essere dotate di griglie o reti di adeguate dimensioni, da realizzarsi con materiali resistenti al morso di ratti e roditori in genere; i fori di aerazione di solai, vespai e pareti con intercapedine ventilata devono essere protetti con reti a maglie fitte; le aperture delle canne di aspirazione e di aerazione forzata devono essere munite di reti a maglie di dimensione adeguata poste alla sommità delle stesse.

Criticità individuata ed elementi di possibile riflessione: tale requisito risulta particolarmente significativo nella valutazione delle griglie di ventilazione in ingresso ed in uscita degli involucri evoluti a comportamento dinamico. Nella progettazione di tali sistemi è riscontrabile una contraddittorietà intrinseca: da un lato infatti è necessario prevedere griglie con maglia fitta per evitare l'intrusione di animali o fogliame, dall'altro però le portate richieste all'interno dell'intercapedine, necessarie per innescare moti convettivi, richiedono asole di maggiori dimensioni. Sarebbe necessario distinguere i due requisiti, proponendo soluzioni distinte e indicazioni progettuali in funzione della tipologia di facciata.

¹⁹ Vedi paragrafo 6.1.

3.4.2 Livelli prestazionali di rumore

In riferimento alla prestazione *controllo dell'inquinamento acustico*, perché il requisito sia soddisfatto è necessario che la rumorosità prodotta dagli impianti tecnologici non deve superare i limiti imposti dalla normativa vigente e precisamente: $L_{aeq} 25 \text{ dB(A)}$ per i servizi a funzionamento continuo (impianti di riscaldamento, condizionamento, aerazione) e $L_{asmax} 35 \text{ dB(A)}$ per i servizi a funzionamento discontinuo (ascensori, scarichi idraulici, servizi igienici e rubinetterie).

Criticità individuata ed elementi di possibile riflessione: accanto al problema dell'inquinamento acustico, sarebbe necessario introdurre il problema della trasmissione dell'onda sonora, soprattutto all'interno dell'intercapedine. La possibilità di avere aperture nella pelle interna dell'involucro (per direzioni di ventilazioni interna, vedi paragrafo 4.1.3) potrebbe generare fastidiosi inconvenienti tra le varie unità ambientali dell'edificio, soprattutto nel residenziali. L'obiettivo dovrebbe perciò essere quello di sdoppiare il requisito, considerando il controllo del rumore da e verso l'esterno.

3.4.3 Livelli prestazionali di risparmio energetico

In riferimento alla prestazione di *contenimento dei consumi energetici*, perché il requisito sia soddisfatto l'indice di prestazione energetica nel caso di edifici dotati di impianto per la climatizzazione invernale combinato con la produzione di acqua calda sanitaria (EP_i) e l'indice di prestazione energetica per la produzione nel caso di edifici dotati di impianti per la sola produzione separata di acqua calda sanitaria (EP_{acs}) devono risultare uguali o inferiori ai valori limite riportati nella D.A.L. 156/2008²⁰ della Regione Emilia-Romagna.

(Climatizzazione invernale)

Nel caso di edifici dotati di impianto termico destinato alla climatizzazione con o senza produzione di acqua calda sanitaria, il valore limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EP_i), espresso rispettivamente in $\text{kWh/m}^2\text{anno}$ per gli edifici residenziali della classe E1 esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme e in $\text{kWh/m}^3\text{anno}$ per tutte le altre tipologie di edifici è indicato nelle tabelle 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8.

²⁰ Requisito R 6.1.1 - Prestazione energetica degli edifici - tabelle A.1, A.2, A.3, A.4, B.1, B.2, di cui all'allegato 3 dell'Atto di indirizzo e coordinamento regionale sui requisiti di rendimento energetico e sulle procedure di certificazione energetica degli edifici, Delibera di Assemblea Regionale 156/2008 Regione Emilia-Romagna in attuazione del D.Lgs 192/05 e s.m.i.

Rapporto di forma dell'edificio S/V	Zona climatica				
	D		E		F
	da 1401 GG	a 2100 GG	da 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
	EP _i (kWh/m ² anno)				
< 0,2	21,3	34,0	34,0	46,8	46,8
> 0,7	54,7	72,6	72,6	96,2	96,2

Tab. 3.5 Valore limite dell'indice di prestazione energetica EP_i per edifici residenziali di nuova costruzione della classe E1, esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme (GG sta per gradi giorno).

Rapporto di forma dell'edificio S/V	Zona climatica				
	D		E		F
	da 1401 GG	a 2100 GG	da 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
	EP _i (kWh/m ² anno)				
< 0,2	21,3	34,0	34,0	46,8	46,8
> 0,9	68,0	88,0	88,0	116,0	116,0

Tab. 3.6 Valore limite dell'indice di prestazione energetica EP_i per edifici residenziali della classe E1, esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme, nel caso di demolizione e totale ricostruzione di edifici esistenti ovvero di interventi di ristrutturazione integrale di edifici esistenti di superficie utile superiore a 1000 metri quadrati.

Rapporto di forma dell'edificio S/V	Zona climatica				
	D		E		F
	da 1401 GG	a 2100 GG	da 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
	EP _i (kWh/m ³ anno)				
< 0,2	6,0	9,6	9,6	12,7	12,7
> 0,7	14,1	18,8	18,8	25,8	25,8

Tab. 3.7 Valore limite dell'indice di prestazione energetica EP_i per tutti gli altri edifici di nuova costruzione

Rapporto di forma dell'edificio S/V	Zona climatica				
	D		E		F
	da 1401 GG	a 2100 GG	da 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
	EP _i (kWh/m ³ anno)				
< 0,2	6,0	9,6	9,6	12,7	12,7
> 0,9	17,3	22,5	22,5	31,0	31,0

Tab. 3.8 Valore limite dell'indice di prestazione energetica EP_i per tutti gli altri edifici nel caso di demolizione e totale ricostruzione di edifici esistenti ovvero di interventi di ristrutturazione integrale di edifici esistenti di superficie utile superiore a 1000 metri quadrati).

I valori limite riportati nelle tabelle 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 sono espressi in funzione della zona climatica, così come individuata all'articolo 2 del Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, e del rapporto di forma dell'edificio S/V, dove: S, espressa in metri quadrati, è la superficie che delimita verso l'esterno (ovvero verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento ovvero verso zone termiche e/o unità immobiliari dotati di impianto di climatizzazione diverso rispetto a quello dell'unità immobiliare oggetto della valutazione), il volume riscaldato V; V è il volume

loro, espresso in metri cubi, delle parti di edificio riscaldate, definito dalle superfici che lo delimitano.

Nel caso di edifici dotati di impianti per la sola produzione di acqua calda sanitaria, il valore limite del relativo indice di prestazione energetica (EP_{acs}) è indicato nelle tabelle seguenti, in relazione alla tipologia di edificio.

Superficie utile	<50 m ²	50 m ²		200 m ²	>200 m ²
EP_{acs}	15,70	16,00	11,70	12,00	Per edifici situati in centri storici
EP_{acs}	9,80	10,00	7,30	7,50	Per tutti gli altri edifici

Tab. 3.9 Valore limite dell'indice di prestazione energetica EP_{acs} in kWh/m²anno per edifici residenziali della classe E1 esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme nonché edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari. I valori limite sono calcolati per valori di superficie utile compresi tra 50 e 200 m² per interpolazione lineare dei valori riferiti a 50 e 200 m²

Destinazione d'uso	Unità di misura	Per edifici situati in centri storici EP_{acs}	Per tutti gli altri edifici EP_{acs}
Attività ricettive (annuali)	per ogni posto letto	544,00	340,00
Attività ricettive (stagionali)	per ogni posto letto e n° giorni	1,60	1,00
Altre attività ricettiva	per ogni posto letto e n° giorni	0,72	0,45
Ospedali (con pernottamento e lavanderia)	per ogni posto letto	820,80	513,00
Ospedali (day hospital)	per ogni posto letto	91,20	57,00
Scuole	per ogni alunno	91,20	57,00
Attività sportive	per ogni doccia	912,00	570,00
Uffici	per ogni addetto	182,40	114,00
Negozi e grande distribuzione	per ogni addetto	182,40	114,00
Ristoranti e self services	per ogni posto pasto	36,48	22,80

Tab. 3.10 Valore limite dell'indice di prestazione energetica EP_{acs} per le altre tipologie di edifici.

In riferimento alla prestazione energetica complessiva, per interventi di nuova costruzione e di ristrutturazione, l'edificio deve essere progettato in modo che possa essere classificato almeno in classe energetica C²¹. La classe energetica a cui l'edificio appartiene è determinata confrontando il valore del fabbisogno di energia primaria $EP_i + EP_{acs} = EP_{tot}$ con i parametri numerici associati ad ogni classe, definiti secondo quanto indicato nelle tabelle 8 e 9 che seguono.

²¹ *ibidem*

A+	$EP_{tot} \inf 25$
A	$EP_{tot} \inf 40$
B	$40 < EP_{tot} < 60$
C	$60 < EP_{tot} < 90$
D	$90 < EP_{tot} < 130$
E	$130 < EP_{tot} < 170$
F	$170 < EP_{tot} < 210$
G	$EP_{tot} > 210$

Tab. 3.11 Classi di prestazione energetica: edifici di classe E.1 esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme (kWh/m²anno).

A	$EP_{tot} \inf 8$
B	$8 < EP_{tot} < 16$
C	$16 < EP_{tot} < 30$
D	$30 < EP_{tot} < 44$
E	$44 < EP_{tot} < 60$
F	$60 < EP_{tot} < 80$
G	$EP_{tot} > 80$

Tab. 3.12 Classi di prestazione energetica: altri edifici (kWh/m³anno)

Infine per quanto riguarda la riduzione delle dispersioni termiche, devono essere garantiti almeno i valori di trasmittanza termica indicati nel requisito R 6.1.2 di cui all'allegato 3 della suddetta Delibera Regionale. Il valore limite della trasmittanza termica delle chiusure opache (U) espressa in W/m²K, riferito alle varie tipologie di strutture ed alla zona climatica, è nel seguito indicato:

Zona Climatica	U (W/m ² K)
D	0,36
E	0,34
F	0,33

Tab. 3.13 Valore limite della trasmittanza termica delle chiusure opache verticali (pareti perimetrali verticali) tra spazi climatizzati ed ambiente esterno.

Zona Climatica	U (W/m ² K)
D	2,4
E	2,2
F	2,0

Tab. 3.14 Valore limite della Trasmittanza termica delle chiusure trasparenti (finestre, porte-finestre, luci fisse) verticali, orizzontali o inclinate, comprensive degli infissi.

Alcuni degli strumenti urbanistici presi in esame prevedono anche la definizione di livelli prestazionali migliorativi: si tratta di una sorta di distinzione tra requisiti cogenti

– cioè obbligatori – e requisiti facoltativi. Di fatto, tutti i requisiti enunciati sono cogenti, sono però previsti livelli qualitativi più elevati. Si parla, ad esempio, del raggiungimento della classe energetica B (livello migliorativo), oppure A (livello di eccellenza), come da tabelle 3.11 e 3.12. Per la verifica, in sede di progetto, deve essere valutati i livelli prestazionali richiesti, sulla base delle considerazioni relative alla disponibilità di sole ed all'orientamento delle superfici, dati quest'ultimi raccolti per il soddisfacimento del requisito di inserimento dell'edificio nel contesto e per le simulazioni effettuate nell'ambito del controllo dell'apporto energetico solare (riportato di seguito).

Inoltre, per quanto concerne l'eventuale realizzazione di sistemi solari passivi deve essere redatto il bilancio energetico, calcolato secondo le norme UNI EN ISO 13790:2008 e UNI 8477-2 (Energia solare. Calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia. Valutazione degli apporti mediante sistemi attivi o passivi). Nel caso siano previsti sistemi di captazione solari passivi integrati nell'edificio, come serre, logge e terrazze chiuse con vetrate trasparenti, questi non costituiranno superficie utile purché non determinino nuovi locali riscaldati ed abitabili (ma solo volumi tecnici), che siano direttamente accessibili solo dall'esterno, da vani accessori o da vani condominiali e purché siano realizzati con esplicite finalità di risparmio energetico, da valutarsi e certificarsi come strumenti per il guadagno energetico.

Per guadagno energetico – da calcolarsi secondo la normativa UNI EN ISO 13790:2008, tenendo conto dell'irraggiamento solare lungo tutta la stagione di riscaldamento – si intende la differenza tra l'energia dispersa in assenza di sistema passivo Q_0 e quella dispersa in presenza di sistema passivo Q .

Deve garantirsi il seguente livello prestazionale:

$$\frac{Q_0 - Q}{Q_0} > 25\%$$

La struttura di chiusura del sistema solare passivo adottato deve essere completamente trasparente, fatto salvo l'ingombro degli elementi di supporto. Nella progettazione del sistema deve attentamente valutarsi anche il comportamento energetico estivo, al fine di evitare negativi effetti di eccessivo riscaldamento dell'aria interna, nonché l'inserimento architettonico nel contesto. I sistemi solari passivi devono pertanto essere apribili ed ombreggiabili (cioè dotati di opportune schermature mobili o rimuovibili) ai fini del contenimento dei guadagni solari estivi ed il loro volume non deve eccedere il 10% del volume complessivo dell'edificio.

Criticità individuata ed elementi di possibile riflessione: alla base dell'individuazione delle classi di prestazione energetica, vi sono recepimenti di normative europee che

affrontano il problema da numerosi punti di vista. Per semplicità di trattazione, in questa sede si richiameranno solo alcune delle considerazioni possibili.

Per quanto riguarda ad esempio la ventilazione, nel calcolo del fabbisogno termico di un edificio, si tiene conto degli apporti gratuiti interni ed esterni, attraverso parametrizzazioni derivanti da dati sperimentali. Non si è però ancora stabilito quale sia l'apporto gratuito della ventilazione di involucri con intercapedine la cui profondità è dieci volte superiore allo sviluppo in altezza o lunghezza dell'involucro stesso. Infatti nella valutazione estiva della trasmittanza di una parete, non si considera né la pelle esterna, né l'intercapedine d'aria.

Inoltre nell'analisi del guadagno termico di serre solari, la normativa prevede che si tratti di superfici completamente trasparenti, fatto salvo l'ingombro degli elementi di supporto. È però verificato che l'impiego di vetri serigrafati o traslucidi, non riduce sensibilmente la trasmissione della radiazione solare incidente sulla pelle esterna. Infine, sebbene l'apporto gratuito sia inferiore, sarebbe opportuno verificare il guadagno termico di involucri in cui la pelle esterna è costituita da lamiere o tessuti metallici.

Per il controllo *dell'apporto energetico solare* deve essere soddisfatto, limitatamente ai livelli di prestazione A e B, il requisito R 6.4²², che prevede la valutazione di quattro differenti aspetti, di seguito riportati:

- a) protezione delle chiusure maggiormente esposte all'irraggiamento solare;
- b) riduzione dell'apporto di calore per irraggiamento solare attraverso le superfici vetrate;
- c) comportamento termico delle chiusure opache;
- d) ventilazione naturale degli edifici.

Protezione delle chiusure maggiormente esposte all'irraggiamento solare

Al fine di contenere la temperatura interna degli ambienti e di limitare conseguentemente i fabbisogni energetici per il raffrescamento degli edifici, devono essere adottati sistemi che contribuiscano a ridurre gli apporti termici dovuti all'irraggiamento solare durante il regime estivo, considerando in modo sinergico i seguenti aspetti:

- adozione di sistemi che consentono la protezione delle chiusure maggiormente esposte all'irraggiamento solare;

²² Contenimento dei consumi energetici in regime estivo di cui all'allegato 3 dell'Atto di indirizzo e coordinamento regionale sui requisiti di rendimento energetico e sulle procedure di certificazione energetica degli edifici, Delibera Assemblea Regionale 156/2008 Regione Emilia-Romagna

- adozione di soluzioni che consentono la riduzione dell'apporto di calore per irraggiamento solare attraverso le superfici vetrate;
- adozione di sistemi costruttivi che conferiscono alle chiusure un adeguato comportamento in termini di inerzia termica, sfasamento e attenuazione dell'onda termica;
- utilizzo delle condizioni ambientali esterne e delle caratteristiche distributive degli spazi per favorire la ventilazione naturale degli ambienti.

Per le chiusure trasparenti si devono adottare sistemi per la protezione di quelle maggiormente esposte all'irraggiamento solare che garantiscano una schermatura delle aperture verticali rivolti verso sud e verso ovest, così come dei serramenti orizzontali o inclinati mediante sistemi schermanti fissi (aggetti, brise soleil, balconi, porticati, frangisole fissi, ecc.) o l'installazione di schermi flessibili (ante mobili oscuranti, frangisole mobili, chiusure avvolgibili, tende esterne, ecc.) tenendo anche conto delle eventuali ombre portate da altri edifici o parti dell'organismo edilizio o da elementi vegetali presenti. Il requisito è espresso come percentuale della superficie schermata rispetto alla superficie di ciascuna apertura rivolta verso sud e verso ovest. Tale percentuale deve essere superiore al 50%. La verifica del requisito deve essere effettuata con riferimento alla posizione del sole e alla radiazione solare incidente anche a est, alle ore 10, alle ore 13 e alle ore 16 del 25 giugno e del 25 luglio. Nel caso di adozione di sistemi schermanti fissi e non regolabili, deve essere comunque garantito il rispetto il requisito di illuminazione naturale (fattore medio di luce diurna), quando pertinente, anche in condizione di ombreggiamento. Il requisito non si applica nel caso di componenti vetrate (verticali, inclinate o orizzontali) utilizzate nell'ambito di sistemi di captazione dell'energia solare (serre, etc.) appositamente progettati per tale scopo, purché ne sia garantito il corretto funzionamento in regime estivo.

Per quanto concerne, invece, le chiusure opache si devono adottare soluzioni che garantiscano la mitigazione degli effetti dell'irraggiamento solare delle chiusure verticali rivolte verso sud e verso ovest. A tal fine si devono valutare puntualmente, con riferimento alla posizione del sole e alla radiazione solare incidente alle ore 13.00 ed alle ore 15.00 del 25 luglio, e documentare:

- gli effetti dell'adozione di sistemi schermanti fissi o di schermi;
- gli effetti di eventuali ombre portate da altri edifici o parti dell'organismo edilizio o da elementi vegetali;
- il comportamento del pacchetto di chiusura in termini di inerzia termica, sfasamento e attenuazione dell'onda termica (vedi successivo punto c). Non vengono indicati livelli minimi di prestazione da rispettare obbligatoriamente, ma devono essere

preferite soluzioni che garantiscono una efficace protezione delle chiusure nel periodo estivo, senza compromettere la possibilità di beneficiare degli apporti della radiazione solare diretta nel periodo invernale. Il requisito si intende completamente soddisfatto se la protezione delle chiusure dagli effetti dell'irraggiamento solare è ottenuta mediante l'adozione di un rivestimento esterno in grado di formare una sottile intercapedine costantemente ventilata (parete ventilata, tetto ventilato).

Riduzione dell'apporto di calore per irraggiamento solare attraverso superfici vetrate

Si devono adottare soluzioni che garantiscano la mitigazione degli effetti della radiazione solare che entra attraverso le superfici vetrate, soprattutto quando non sia possibile adottare i sistemi schermanti.

Nel caso di edifici con un rapporto tra superficie delle chiusure opache verticali e delle chiusure trasparenti inferiori al 50% è obbligatorio garantire la riduzione dell'apporto di calore per irraggiamento solare attraverso le superfici vetrate mediante il controllo del fattore solare g delle vetrature non protette da sistemi di ombreggiamento. Si ricorda, come già descritto, nel paragrafo 3.3.3, che il fattore solare, o coefficiente di trasmissione di energia solare g si riferisce al fattore di trasmissione dell'energia solare totale, calcolato come la somma del fattore di trasmissione solare diretta e del fattore di scambio termico secondario della vetrata verso l'interno, così come indicato nella normativa UNI EN 410. Il valore del fattore solare esprime in maniera adimensionale le caratteristiche dell'elemento trasparente di trasmettere calore verso l'ambiente interno. Maggiore è il valore del fattore solare maggiore è la quantità di energia raggiante incidente trasmessa verso l'interno.

Il requisito si intende soddisfatto quando il valore limite del fattore di trasmissione della componente vetrata dei serramenti esterni (verticali, orizzontali o inclinati) risulti inferiore o uguale ai valori riportati nella seguente tabella:

Tipo di chiusura	Fattore di trasmissione g
orizzontale superiore	0,65
Inclinata	0,75
verticale	0,70

Tab. 3.15 Fattore solare (g) della componente vetrata degli infissi esterni.

Il requisito non si applica nel caso di componenti vetrate (verticali, inclinate o orizzontali) utilizzate nell'ambito di sistemi di captazione dell'energia solare appositamente progettati per tale scopo, purché ne sia garantito il corretto funzionamento in regime estivo.

Il requisito può non essere applicato alle vetrature che risultino non esposte alla radiazione solare (per orientamento o perché protette, ad esempio, da ombre portate da altri edifici o parti dell'organismo edilizio). La relativa verifica deve essere effettuata con riferimento alla posizione del sole e alla radiazione solare incidente alle ore 10, alle ore 13 e alle ore 16 del 25 giugno e del 25 luglio.

Massa termica delle pareti opache verticali, orizzontali e inclinate dell'involucro: la massa termica esprime la massa superficiale M espressa in kg/m^2 delle chiusure verticali opache dell'edificio e influisce direttamente sul comportamento dinamico della parete in relazione allo sfasamento dell'onda termica dovuta agli apporti termici solari e all'irraggiamento termico.

Comportamento termico delle chiusure opache

Controllo del comportamento termico dell'involucro in regime estivo: gli effetti positivi che si ottengono con il rispetto dei valori di massa superficiale delle pareti opache descritti al punto precedente possono essere raggiunti, in alternativa, con l'utilizzo di tecniche e materiali anche innovativi, che permettano di contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare. La capacità della struttura edilizia di contenere queste oscillazioni può essere utilmente rappresentata dagli indicatori prestazionali sfasamento (S), espresso in ore, ed attenuazione (f_a), coefficiente adimensionale, valutabili in base alle norme tecniche UNI EN ISO 13786.

Il requisito si intende soddisfatto quando l'edificio raggiunge una classe di prestazione non inferiore alla classe III. Sulla base dei valori assunti da tali parametri si definisce la seguente classificazione:

Sfasamento S (h)	Attenuazione f_a	Prestazioni	Classe Prestazionale
$S > 12$	$f_a < 0,15$	Ottima	I
$12 > S > 10$	$0,15 < f_a < 0,30$	Buona	II
$10 > S > 8$	$0,30 < f_a < 0,4$	Sufficiente	III
$8 > S > 6$	$0,40 < f_a < 0,60$	Mediocre	IV
$6 > S$	$0,60 < f_a$	Cattiva	V

Tab. 3.16 Classi prestazionali della struttura edilizia di contenimento delle oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell'irraggiamento solare.

Al fine di ridurre gli apporti termici durante il regime estivo e raffrescare gli spazi dell'organismo edilizio devono essere adottate soluzioni progettuali che garantiscano di utilizzare al meglio le condizioni ambientali esterne e le caratteristiche distributive degli spazi per favorire la ventilazione naturale dell'edificio, con particolare riferimento alla ventilazione notturna (free cooling).

Ventilazione naturale degli edifici

La ventilazione naturale può essere realizzata mediante:

- ventilazione incrociata dell'unità immobiliare,
- captazione di aria raffrescata da elementi naturali, da facciate esposte alle brezze estive o da zona dell'edificio con aria raffrescata (patii, porticati, zona a nord, spazi cantinati, ecc.);
- camini di ventilazione o altre soluzioni progettuali - tecnologiche.

Nel caso che il ricorso a tali sistemi non sia praticabile o efficace, è possibile prevedere l'impiego di sistemi di ventilazione ibrida (naturale e meccanica) o ventilazione meccanica.

Criticità individuata ed elementi di possibile riflessione: la normativa ha sicuramente introdotto importanti novità, distinguendo il comportamento tra estivo ed invernale, ma rimane anche uno strumento di verifica e controllo limitato: il requisito prevede, nelle premesse, il rispetto dei limiti previsti solo per il livelli di prestazione A e B, perciò per una casistica limitata. Inoltre si prevede, come anche in casi precedenti, la verifica in situazioni di carico di picco, non valutando le condizioni intermedie che rappresentano la maggior parte del problema. L'obiettivo dovrebbe essere quello di analizzare il funzionamento delle soluzioni impiegate nella loro dinamicità, introducendo parametri relativi a condizioni intermedie.

In riferimento all'*inerzia termica* delle chiusure deve essere soddisfatto, limitatamente al livello di prestazione C, il requisito sopra enunciato relativo al contenimento dei consumi energetici in regime estivo.

Criticità individuata ed elementi di possibile riflessione: le indicazioni fornite dalla normativa risultano decisamente sommarie. Il problema dell'inerzia termica svolge un ruolo determinante nei soluzioni che non prevedono schermature. L'impiego di soluzioni leggere a secco, invece, necessita la previsioni di sistemi frangisole o aggetti per evitare che l'effetto serra, passando attraverso materiali che non possiedono capacità termica, si trasferisca all'interno dei vani.

Sarebbe inoltre opportuno legare la progettazione tipologica alle prestazioni richieste: lo sfruttamento dell'inerzia termica infatti potrebbe essere risolutivo per gli edifici di piccole dimensioni, dove non è vantaggioso applicare soluzioni complesse di involucro (come ad esempio le facciate a tutta superficie, vedi paragrafo 4.1.3).

Per quanto riguarda l'*efficienza energetica del condizionamento estivo*, per usi residenziali, si deve prevedere, dove necessario, l'installazione di dispositivi in classe energetica A.

Per tutti gli altri usi si deve procedere alla redazione di una relazione che indichi il calcolo dei fabbisogni di raffrescamento, motivi l'esigenza di un impianto di condizionamento estivo valuti prioritariamente la possibilità di adottare soluzioni centralizzate e tecnologie ad alta efficienza.

Negli interventi di nuova costruzione deve essere $EER > 4,5$; negli interventi su edifici esistenti deve essere $EER > 3,8$. (EER "Energy Efficiency Ratio" è l'indice di efficienza energetica del climatizzatore).

Criticità individuata ed elementi di possibile riflessione: in merito al contenimento dei consumi energetici sarebbe opportuno fare una precisazione relativa all'impiego di sistemi per l'automazione. È possibile infatti che l'involucro richieda, ad esempio, l'impiego di sistemi automatici per la protezione solare (frangisole orientabili). In questo caso sarebbe opportuno verificare, tramite un bilancio tra costi e benefici, la fattibilità di impiego e l'effettivo guadagno (o perdita) dovuto alla predisposizione di tali sistemi.

Si ritiene, infine, utile, introdurre considerazioni funzionali relative alla superficie che si trova tra le due pelli. I regolamenti edilizi infatti prevedono la suddivisione, fatte le dovute distinzioni del caso, tra superficie utile ed accessoria.

Alcune soluzioni di involucro descritte nei capitoli successivi prevedono intercapedine di aria di notevoli dimensioni. Per il momento non esiste uno strumento normativo in grado di regolamentare tale *nuova superficie*.

All'interno dell'intercapedine si trovano spesso elementi complementari con diverse funzioni: elementi di compartimentazione, per la ventilazione, per l'automazione, per il collegamento tra le pelli, per la manutenzione. Sarebbe opportuno interrogarsi sulle possibilità funzionali di questo spazio, verificando come incide sulle tipologie edilizie e sulle destinazioni d'uso: nell'ambito del residenziali infatti si potrebbe pensare all'individuazione di una terza superficie, né utile, né accessoria, che raccolga funzioni di tipo secondario; nel terziario potrebbe rappresentare la sede per l'inserimento di tutta una serie di elementi tecnici; nella varietà dell'edilizia specialistica infine si potrebbe assegnare a questo spazio ancora differenti funzioni in base alla specifica destinazione d'uso (scolastica, ospedaliera, ecc.) dell'edificio.

L'obiettivo potrebbe essere quello di parametrizzare le dimensioni dell'intercapedine in funzioni delle attività svolte dei vani prospiciente all'intercapedine stessa.

4

Capitolo 4 – Definizioni dei fenomeni fisici correlati e degli elementi costitutivi di involucro evoluti a comportamento dinamico

4.1 Involucro evoluto a comportamento dinamico

- 4.1.1 Principi di base
- 4.1.2 Materiali e componenti
- 4.1.3 Tipologie di facciata
- 4.1.4 Famiglie di involucro

4.2 Fenomeni fisici correlati

- 4.2.1 Trasmissione del calore per irraggiamento all'interno di uno spazio confinato
- 4.2.2 Convezione naturale in uno spazio confinato
- 4.2.3 Effetto serra
- 4.2.4 Effetto camino
- 4.2.5 Ventilazione naturale
- 4.2.6 Isolamento termico
- 4.2.7 Ombreggiamento e protezione solare
- 4.2.8 Inerzia termica
- 4.2.9 Controllo della condensa interstiziale
- 4.2.10 Controllo del rumore

4.3 Termofisica dell'involucro: calcolo stazionario e calcolo dinamico

4.1 Involucro evoluto a comportamento dinamico: definizioni e criteri generali di funzionamento

Le prestazioni di un edificio dovrebbero essere studiate a fondo tenendo in considerazione il fatto che il potere di trasmissione della luce o delle radiazioni è uno dei parametri fondamentali che definiscono la forma e la funzione dell'involucro di un edificio, accanto alla richiesta d'assorbimento e di distribuzione dei carichi e agli sviluppi strutturali che costituiscono alcuni tra i primi parametri di attenzione nella progettazione. In termini di bilancio energetico e di possibile guadagno diretto dell'energia solare, questo parametro è significativo anche nell'ambito dello sfruttamento della luce diurna e dell'effetto serra (surriscaldamento estivo). Analizzando i sistemi di parete - mono o pluri strato - esiste una vasta gamma di sistemi di facciate traslucide e trasparenti: questa varietà funzionale, consente un inserimento mirato dello strato di protezione solare e termico nella costruzione esterna in base alle condizioni locali o ai requisiti individuali. Da un lato è possibile garantire un alto grado di trasparenza mantenendo un buon isolamento acustico e proprietà di protezione al vento; dall'altro è possibile uno sfruttamento dell'energia solare accumulata garantendo un buon isolamento termico con pareti piene ad accumulo termico.

I componenti della facciata traslucida sono sempre più apprezzati per l'uso ottimale della luce naturale: sviluppando le nuove applicazioni in base a consolidati principi, è possibile determinare la forma e le caratteristiche funzionali dell'involucro ottimizzando l'uso di componenti trasparenti, traslucidi od opachi.

Attraverso tipologie tecnologiche, l'analisi e l'inquadramento del problema scientifico ha portato ad un superamento della tradizionale considerazione dei livelli prestazionali associati ad uno specifico materiale, volto ad un approccio sistemico e non materico. La natura fisico - chimica del materiale ha perso il suo legame con i livelli prestazionali raggiungibili: un tempo l'attenzione era maggiormente rivolta alle potenzialità compositive più che a quelle prestazionali; l'obiettivo principale mirava a sfruttare le potenzialità formali di un singolo materiale. Ad oggi, questi aspetti si sono resi indipendenti: in alcuni casi continuano a coincidere ma risulta necessario un processo di reinterpretazione della natura prestazionale dei materiali, rileggendone le attitudini in funzione della complessità del sistema di cui fanno parte.

La ceramica utilizzata a Vienna nello *Jugendstil* da Otto Wagner, ad esempio, veniva utilizzata come semplice materiale da rivestimento decorato per le proprie caratteristiche di compattezza e impermeabilità (fig. 4.1). Staccandosi notevolmente dalle caratteristiche intrinseche proprie del materiale, la ceramica oggi viene usata



Figura 4.1 Rivestimento in ceramica decorata, Otto Wagner, Vienna.

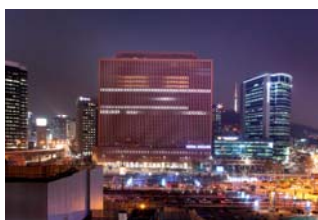


Figura 4.2 Facciata ventilata in ceramica.

per la propria resistenza meccanica e leggerezza, come per esempio nelle facciate ventilate se impiegata in formati molto sottili (fig. 4.2). Si tratta perciò di un differente approccio alla problematica prestazionale: non è più possibile associare ad un singolo materiale una specifica funzione mono-prestazionale. La lettura materica diviene perciò un secondo passo, che valuta il materiale solo in conseguenza del sistema a cui esso stesso appartiene.

Viene perciò prima definito quale sia il sistema più adatto ad un determinato contesto, poi, all'interno del sistema individuato, quale sia il materiale che, applicato a quel sistema, si presta maggiormente al raggiungimento delle prestazioni desiderate.

Ne discendono da ciò tre considerazioni, utili per poter meglio delineare la ricerca:

- i materiali hanno scollegato da tempo le proprie caratteristiche fisico – chimiche rispetto alle qualità prestazionali;
- non si può limitare l'essenza prestazionale di un materiale senza averlo prima contestualizzato all'interno del sistema in cui viene applicato;
- l'approccio materico non costituisce la base di partenza nella progettazione e nella ricerca, ma viene messa in gioco come seconda fase del processo.

Per questi motivi la ricerca fonda le proprie basi su una classificazione di sistemi di materiali, suddividendoli in trasparenti, traslucidi ed opachi: l'obiettivo è quello di sintetizzare i comportamenti delle possibili soluzioni di involucro, rispetto alla risposta che le famiglie di materiali forniscono alla radiazione solare, all'orientamento, alla tipologia edilizia ecc.

Gli involucri a comportamento dinamico racchiudono un insieme di diverse soluzioni, composte attraverso l'applicazione di più strati o pelli.

Per semplicità di trattazione si indicano:

- *strato*: superficie continua costituita da un unico materiale; può essere in grado di produrre o innescare uno o più fenomeni fisici (es. muratura a piccoli elementi in laterizio, pannello isolante, intonaco, ecc.);
- *pelle*: applicazione di più strati contigui a formare una entità fisicamente autonoma (es. muratura a piccoli elementi in laterizio e strati di intonaco); in alcuni casi limite, anche la pelle può coincidere con un singolo strato (es. rete metallica o frangisole);
- *involucro*: soluzione finita di chiusura (in alcuni casi l'involucro può essere costituito anche da un singolo strato, ad esempio nelle tradizionali murature monostrato in pietra faccia vista); può essere costituito da una o più pelli.

Queste definizioni assumono una specificità rilevante se analizzate nel contesto della trattazione degli involucri evoluti a comportamento dinamico: possono essere analizzati e valutati in funzione di diversi aspetti di ordine funzionale e prestazionale, suddividendoli in tipologie costitutive; oppure per principi di ordine geometrico e compositivo. Ogni *involucro evoluto* è perciò una esterna composta dall'aggregazione sequenziale di sistemi tecnologici organizzati come segue (fig. 4.3):

- una pelle esterna;
- una intercapedine areata;
- una pelle interna.

Le caratteristiche di un involucro così configurato risultano tali da permettere l'innescio e lo sfruttamento di fenomeni fisici complessi, capaci di introdurre prestazioni elevate e variabili all'occorrenza.

L'involucro evoluto può essere definito come una chiusura a *comportamento dinamico*: le due pelli che lo compongono non realizzano un semplice diaframma protettivo, ma un luogo attivo d'interscambio tra energia interna ed esterna prodotta, accumulata ed espulsa in funzione delle condizioni ambientali esterne esistenti (paragrafo 3.1) ed interne desiderate (paragrafo 3.2). Tale attività risulta qualitativamente e quantitativamente variabile in funzione delle caratteristiche fisiche e meccaniche delle due pelli che compongono l'involucro e del grado di complessità nella gestione dell'intercapedine.

4.1.1 Principi di base

La tecnologia per involucri evoluti a comportamento dinamico costituisce uno dei possibili sistemi in grado di sfruttare l'energia solare per incrementare le proprie prestazioni ottenute grazie all'applicazione di due pelli separate, insieme al soddisfacimento di altri requisiti quali ad esempio:

- la riduzione od eliminazione dei ponti termici dell'involucro;
- la riduzione della trasmissione acustica; in merito alle prestazioni acustiche occorre evidenziare che, se correttamente progettato, l'involucro evoluto a comportamento dinamico garantisce un isolamento decisamente superiore rispetto agli involucri tradizionali (la presenza di errori progettuali può, però, rendere il sistema un veicolo per la propagazione e l'incremento delle onde sonore all'interno degli ambienti);
- la protezione della pelle interna dagli agenti atmosferici (vento, pioggia) e da inquinanti esterni;



Figura 4.3 Schema della composizione base di un involucro evoluto

- una buona abitabilità degli spazi direttamente confinanti con la pelle interna attraverso il raggiungimento di una temperatura superficiale della pelle interna simile a quella degli ambienti riscaldati.

Generalizzando, il funzionamento dinamico degli involucri evoluti è indotto dagli effetti del riscaldamento dell'aria contenuta nell'intercapedine: per opera dell'irraggiamento solare, che agisce sulla superficie esterna dell'involucro, l'aria di intercapedine aumenta, infatti, di temperatura. Calibrando la permeabilità delle due pelli alla circolazione dell'aria nell'intercapedine (tramite l'utilizzo di materiali trasparenti, traslucidi o opachi, oppure con sistemi complementari) ed in funzione di esigenze definite dalle condizioni climatiche esterne e dalle condizioni di benessere interno richiesto:

- il calore presente nell'intercapedine può essere trattenuto nei mesi invernali consentendo all'involucro di accumulare calore da cedere tramite la pelle interna ai vani prospicienti la facciata; se l'involucro è costituito da una pelle esterna poco permeabile al raggio visibile o in assenza di irraggiamento solare diretto, l'intercapedine funziona come un cuscinetto isolante, con aria al suo interno teoricamente ferma a causa del mancato innesco dell'effetto camino;
- il calore presente nell'intercapedine può essere espulso dall'involucro in condizioni di intenso irraggiamento estivo e di elevate temperature esterne; la presenza di una intercapedine sposta la formazione dell'effetto serra dall'interno dei vani all'intercapedine stessa, limitando quindi la trasmissione di calore attraverso l'involucro. L'espulsione dell'aria calda contenuta tra le pelli (ottenuta sfruttando il naturale movimento verso l'alto prodotto dall'effetto camino) riduce il surriscaldamento dei vani, raffrescando la pelle interna grazie al moto convettivo generato dal movimento dell'aria in ingresso e in uscita dall'intercapedine. Il fenomeno naturale di ventilazione dell'involucro può risultare ancora più intenso se si immette nell'intercapedine aria ad una temperatura più bassa di quella esterna, sfruttando sistemi di recupero naturali od artificiali; tale effetto si ottiene, ad esempio, introducendo tra le due pelli aria proveniente da locali interrati, generalmente caratterizzati da temperature meno sensibili alle variazioni climatiche esterne (sia estive che invernali).

Le configurazioni di involucro volte al controllo del calore recuperato nell'intercapedine possono essere predisposte non solamente all'alternarsi delle stagioni, ma semplicemente quando si richiedono specifiche prestazioni alla chiusura; prestazioni che possono variare anche durante la giornata o nell'alternanza

tra il giorno e la notte. Ad esempio, se durante le ore diurne l'involucro può essere chiuso verso l'interno per evitare che il calore esterno e di intercapedine entri nel fabbricato, durante la notte può invece essere aperto, per permettere alla chiusura di espellere il calore accumulato nell'edificio.

Le variazioni di portata e di direzione di circolazione dell'aria contenuta nell'intercapedine si ottengono attraverso la predisposizione di opportuni dispositivi meccanici applicati tra le due pelli; essi hanno la funzione di interrompere la continuità dei due diaframmi verso l'interno e verso l'esterno, consentendo la ventilazione o la chiusura dello spazio contenuto tra le due pelli. Tali dispositivi, di dimensioni adeguatamente definite in funzione di parametri termofisici, sono naturalmente collocati all'estremità superiore ed inferiore dello sviluppo verticale dell'intercapedine, al fine di permettere un corretto e completo passaggio dell'aria al suo interno.

Considerazioni differenti sono da fare per quanto riguarda i sistemi traslucidi: come si vedrà in seguito, si tratta di materiali prevalentemente discontinui (o quanto meno in origine discontinui, poi trattati superficialmente) per i quali non è possibile ipotizzare e verificare comportamenti precisi di ventilazione dell'intercapedine. L'aria contenuta tra le due pelli (traslucida esterna e trasparente o opaca interna) difficilmente può essere controllato nel suo flusso e nella sua direzione. In alcuni casi però (dove cioè la pelle esterna è costituita da reti metalliche o membrane con magli molto fitte) è ipotizzabile un surriscaldamento dell'aria di intercapedine e un conseguente beneficio, soprattutto nei mesi invernali.

Entrando più nel merito delle singole famiglie di involucro, è possibile delineare comportamenti fisici più dettagliati, dovuti alle specificità dei materiali opachi, traslucidi o trasparenti descritti nel paragrafo 4.1.3.

4.1.2 Materiali e componenti

Un involucro evoluto a comportamento dinamico prevede una struttura fisica e meccanica determinata dalla combinazione di una serie di elementi tecnici che, insieme alle due pelli, concorrono nel definire la chiusura e ne permettono il funzionamento dinamico.

Si analizzano e descrivono di seguito i componenti necessari alla realizzazione di tali sistemi, evidenziando le principali tra le numerose variabili, di materiali e tecnologia, che possono intervenire nella definizione delle prestazioni complessive della chiusura.

Il livello di complessità tecnologica può variare sensibilmente in funzione delle scelte operate, rendendo notevolmente libera la progettazione del sistema costruttivo.

Gli elementi che compongono ogni singola famiglia di involucro svolgono, in generale, le medesime funzioni: la sostanziale differenza tra i vari sistemi è costituita dalla presenza di pelli di materiale traslucido, trasparente od opaco.

Gli elementi che compongono un involucro evoluto possono essere suddivisi in due macrocategorie:

- *elementi principali*, costituiti dalle due pelli, separate da una intercapedine d'aria; la natura e i materiali con i quali si compongono le stesse definisce le differenti tipologie di involucro evoluto;
- *elementi complementari*, costituiti da tutti quei dispositivi che svolgono funzioni specifiche all'interno dell'involucro. In alcune soluzioni hanno il compito di completare quest'ultimo per comporre configurazioni definite; in altre, invece, permettono di produrre, o incrementare, determinate prestazioni della chiusura. La loro presenza, nell'involucro, dipende dalla tipologia di soluzione adottata.

Elementi complementari

All'interno della famiglia degli elementi di completamento di un involucro evoluto a comportamento dinamico è presente una vasta serie di componenti; di questi, alcuni sono necessari per comporre fisicamente l'involucro e renderlo funzionante; altri, invece, sono discrezionali e permettono la definizione di prestazioni aggiuntive della chiusura. Gli elementi complementari possono essere classificati in:

- *elementi di protezione solare e controllo dall'introspezione* (fig. 4.4), assolvono la duplice funzione di regolare la quantità di energia luminosa entrante nei vani e di controllare l'introspezione dall'esterno dell'edificio verso l'interno. Si collocano, in alcune soluzioni, nell'intercapedine in modo da evitare l'azione deteriorante delle intemperie e, soprattutto, del vento. In altre, coincidono invece con la pelle esterna dell'involucro. I dispositivi applicati più comunemente sono le veneziane, caratterizzate dalla presenza di lamelle orientabili, capaci di intercettare e riflettere le radiazioni solari e di controllare il livello di illuminazione interno. Nelle condizioni invernali le veneziane funzionano anche come radiatori, grazie alla loro attitudine di assorbire le onde corte dei raggi solari trasformandole in calore da trasferire all'aria di intercapedine. La loro posizione ottimale è fissata in prossimità della facciata esterna, in modo da suddividere verticalmente l'intercapedine in due settori; uno esterno, di dimensioni ridotte e maggiormente surriscaldato dalle radiazioni solari incidenti e riflesse, e uno interno, più ampio e fresco grazie all'ombreggiatura prodotta dal sistema di protezione solare. Oltre alle veneziane, la cui economicità è sottolineata dalla



Figura 4.4 Elementi di protezione solare e controllo dell'introspezione.

semplicità del funzionamento e dalla tipologia dei materiali costituenti, possono essere utilizzate anche tende avvolgibili, lamelle fisse o orientabili (frangisole) e pannellature in materiali diversi (alluminio, legno, pietra). La scelta della tecnologia di oscuramento più opportuna deve essere operata anche in funzione della destinazione d'uso dei locali;

- *elementi per la ventilazione dell'intercapedine* (fig. 4.5), costituiti dagli elementi tecnologici di completamento dell'involucro che, interrompendo la continuità delle facciate in corrispondenza del settore inferiore e superiore dell'intercapedine, consentono l'ingresso e l'uscita dell'aria tra le due pelli. La conformazione fisica e il numero degli elementi da predisporre costituiscono alcune delle variabili progettuali dalle quali dipende la portata e la velocità di ventilazione dell'intercapedine e la funzionalità dinamica degli involucri evoluti. I dispositivi per la ventilazione si distinguono in due famiglie principali: la prima è definita dai sistemi fissi, composti generalmente da griglie metalliche che inducono una permanente ventilazione dell'intercapedine¹. La seconda famiglia è definita dai sistemi orientabili, capaci di predisporre una ventilazione variabile dell'intercapedine in funzione di requisiti puntualmente richiesti all'involucro. L'impiego della ventilazione variabile, se da un lato consente un incremento delle prestazioni della chiusura (in particolare della capacità isolante nei mesi invernali) rispetto ad una ventilazione permanente, dall'altro comporta però l'applicazione di elementi caratterizzati da un elevato livello di complessità tecnologica; ciò è dovuto alla presenza di opportuni rinvii meccanici, comandati manualmente o elettricamente, che permettono l'apertura e la chiusura dell'intercapedine. In alcune soluzioni di involucro gli elementi per la ventilazione dell'intercapedine possono anche non essere presenti; ad esempio, nelle facciate che utilizzano elementi orientabili (lamelle o infissi) oppure nelle chiusure che predispongono direttamente delle interruzioni nel tamponamento della pelle esterna, con semplici distanziamenti;
- *sistemi per la ventilazione meccanica dell'intercapedine* (fig. 4.6), in condizioni climatiche caratterizzate da elevate temperature estive, può risultare necessario l'inserimento di sistemi per la ventilazione meccanica dell'intercapedine. Si tratta di ventilatori che svolgono la primaria funzione di aumentare la velocità e la quantità di aria in uscita dall'intercapedine.



Figura 4.5 Elementi per la ventilazione dell'intercapedine, edificio dell'area fieristica di Hannover, progetto di Thomas Herzog, Monaco di Baviera.



Figura 4.6 Sistema per la ventilazione meccanica.

¹ Nonostante l'involucro risulti costantemente ventilato durante l'anno solare, la portata della ventilazione di un involucro dotato di griglie fisse varia in funzione delle stagioni, ovvero dell'intensità dei raggi solari e quindi dell'effetto camino generato nell'intercapedine.

Generalmente vengono posizionati in corrispondenza della parte alta del vano compreso tra le due pelli, in prossimità delle griglie di uscita, in modo da estrarre e dirigere l'aria calda verso l'esterno o verso appositi terminali impiantistici. I sistemi per la ventilazione meccanica dell'intercapedine vengono necessariamente utilizzati anche nelle doppie pelli che assolvono, in una configurazione con direzione di ventilazione interna, la funzione di controllo del ricambio di aria dei vani.



Figura 4.7 Sistema di compartimentazione dell'intercapedine

- *sistemi di compartimentazione dell'intercapedine e di ausilio ai flussi di ventilazione* (fig. 4.7), vengono definiti tali tutti quei dispositivi che hanno la funzione di suddividere fisicamente l'intercapedine in più unità separate, identificando diverse tipologie di involucro, e di contribuire, attraverso la loro conformazione geometrica, al corretto movimento dei flussi di aria contenuti tra le due facciate. Si tratta di profili metallici le cui caratteristiche, fisiche e meccaniche, dipendono oltre che dalle dimensioni delle intercapedini anche dalle funzioni supplementari che vengono loro deputate; per queste ultime, si possono citare, ad esempio, la resistenza alla propagazione di fiamme e fumo in caso di incendio, la raccolta dell'acqua di condensa che si può formare nell'intercapedine, il contenimento di elementi meccanici e impiantistici (veneziane e loro sistemi di automazione, elementi per la ventilazione meccanica dell'intercapedine, tubazioni, terminali elettrici) e l'inclusione delle griglie di ventilazione;



Figura 4.8 Sistema per il collegamento diretto dei vani con l'intercapedine, edificio residenziale, Rafael Moneo, Barcellona.

- *sistemi per il collegamento diretto dei vani con l'intercapedine e con l'esterno* (fig. 4.8), costituiti da aperture dirette (ad anta, scorrevole, a battente) applicate nelle facciate dell'involucro. Le loro caratteristiche dimensionali e tecnologiche dipendono dal ruolo ad essi attribuito in relazione al funzionamento complessivo della chiusura (ventilazione naturale dei vani interni, affaccio verso l'esterno, ingresso all'intercapedine per lo svolgimento delle operazioni di manutenzione). Generalmente si applicano in facciata interna, ma possono essere inseriti anche nella facciata esterna per esigenze di carattere manutentivo e/o normativo; quest'ultima necessità si manifesta, ad esempio, nelle soluzioni in cui risulta obbligatorio predisporre un collegamento diretto dei vani con l'esterno per attivare un ricambio naturale di aria non proveniente dall'intercapedine.



Figura 4.9 Sistema per la fruizione dello spazio tra le pelli Uffici amministrativi, Barkow Leibinger Architekten, Ditzingen.

- *sistemi per la fruizione dello spazio tra le pelli* (fig. 4.9), atti alla fruizione dello spazio tra le pelli sono costituiti da passerelle poste nell'intercapedine a livello di ogni piano dell'edificio. Oltre ad assumere la funzione primaria di accesso nell'intercapedine per le operazioni di manutenzione, essi si

aggiungono alla superficie dei vani che affacciano all'involucro in qualità di luoghi accessori utilizzabili per funzioni sussidiarie. Nelle soluzioni di involucro in cui un'unica intercapedine si sviluppa lungo più piani del fabbricato questi sistemi vengono realizzati con griglie metalliche per non interrompere il movimento dei flussi dell'aria di ventilazione;

- *sistemi per l'automazione* (fig. 4.10), a questa categoria appartengono tutti quei dispositivi, meccanici ed elettrici, che hanno la funzione di permettere la movimentazione, manuale o automatica, degli elementi a configurazione variabile descritti ai punti precedenti. Il livello di autonomia, nella scelta di adozione o meno di questi sistemi, è funzionale alla complessità tecnologica dell'involucro. Involucri particolarmente articolati richiedono la presenza di tali sistemi per coordinare tutti gli elementi che compongono la chiusura; le massime prestazioni si ottengono, infatti, quando tutti gli elementi a configurazione variabile sono disposti e orientati in modo coerente rispetto alle condizioni climatiche esterne.



Figura 4.10 Sistemi per l'automazione Caltrans District 7 Headquarters, progetto di Morphosis, Los Angeles.

La pelle esterna, fissata in modo da comporre una superficie continua secondo una delle soluzioni precedentemente elencate, deve poi essere ancorata ad una struttura portante, costituita direttamente dal telaio dell'edificio oppure da un sistema di supporto indipendente. In quest'ultimo caso, in funzione dello schema strutturale che regge la facciata, si possono individuare diverse tipologie di struttura portante:

La struttura portante

Il sistema di supporto è fissato ad un reticolo di montanti e traversi metallici (acciaio o alluminio) che svolge la funzione di sostenere il peso della facciata stessa e di resistere alle sollecitazioni dovute al vento. Il telaio può essere indipendente dalla struttura portante dell'edificio, trasmettendo direttamente al terreno i carichi, oppure può essere ad essa collegato con soluzioni statiche diverse. All'ossatura del fabbricato può, infatti, essere assegnata la funzione di controventamento e irrigidimento attraverso opportune connessioni, ancorate generalmente ad ogni livello di interpiano.

Struttura portante a telaio

Queste soluzioni utilizzano, per sorreggere il peso delle lastre in vetro, sistemi di telai realizzati con funi in acciaio (normale o inox); si tratta di strutture leggere, caratterizzate da un ridotto rapporto tra peso proprio (funi) e peso portato (vetro). Il loro principio statico si fonda sull'esclusiva generazione di sforzi di trazione a cui vengono sottoposte le funi.

Tensostrutture

Ad un ridotto peso della struttura portante corrisponde, pertanto, un'elevata resistenza, realizzando sistemi elastici in grado di sopportare sia i carichi prodotti dal peso delle lastre che le tensioni generate dalla spinta orizzontale del vento e dalle deformazioni del vetro (dovute agli sbalzi termici).

Le tensostrutture, dette anche "travi di funi", possono essere collocate secondo direzioni verticali od orizzontali. Nel primo caso vengono fissate ad elementi portanti orizzontali, quali solette di interpiano o travi appositamente disposte; nel secondo invece, vengono collegate ad elementi portanti verticali, indipendenti o costituenti la struttura portante dell'edificio.

Elementi strutturali in vetro Nei sistemi trasparente su trasparente (vedi paragrafo 4.1.4) la struttura portante e/o, nel caso, quella di controventamento viene realizzata con sottili montanti in vetro stratificato che, appesi verticalmente ad un supporto sovrastante (trave o soletta) e posizionati perpendicolarmente al piano della superficie esterna dell'involucro, assolvono alla funzione statica di sostegno delle lastre; queste ultime vengono poi appese ai montanti in vetro attraverso connessioni puntuali.

Le caratteristiche fisiche e meccaniche del tamponamento delle due facciate dipendono sia dal tipo di vetro utilizzato che dalla tecnologia adottata per il fissaggio delle lastre al supporto portante.

4.1.3 Tipologie di facciata

Le forme e le dimensioni dell'intercapedine, unitamente alla possibilità di dirigere i flussi d'aria danno origine a diverse tipologie di facciata. La scelta della tipologia di involucro è strettamente legata alla tipologia edilizia e all'organizzazione funzionale degli spazi interni.

Si propone, di seguito, una schematica classificazione delle tipologie esistenti (*a tutta superficie, a canali e a singoli elementi*), premettendo che si possono realizzare, all'interno di questa, ulteriori e diverse varianti minori, definibili in funzione di specifiche scelte, come ad esempio, dove possibile, la scelta della direzione di ventilazione. Gli involucri evoluti a comportamento dinamico possono essere classificati in funzione della direzione di ventilazione dell'aria di intercapedine, solamente però in presenza di materiali continui, trasparenti od opachi (per definizione i materiali traslucidi sono per lo più discontinui); tale classificazione prevede una tripartizione:

- *direzione di ventilazione esterna* (fig. 4.11); in questo sistema di involucro l'aria contenuta nell'intercapedine viene introdotta ed espulsa esclusivamente dall'esterno dell'edificio²;
- *direzione di ventilazione interna* (fig. 4.12); in questo sistema di involucro l'aria che attraversa l'intercapedine entra ed esce esclusivamente dall'edificio e non dall'esterno³;
- *direzione di ventilazione mista* (fig. 4.13); in questo sistema di involucro l'intercapedine è fisicamente collegata sia con l'esterno che con l'interno dell'edificio attraverso l'applicazione di dispositivi per la ventilazione collocati su entrambe le facciate⁴.



Figura 4.11 Direzione di ventilazione esterna



Figura 4.12 Direzione di ventilazione interna



Figura 4.13 Direzione di ventilazione mista

Risulta a questo punto evidente che la maggiore complessità costruttiva del sistema e, in alcune soluzioni, l'uso di materiali poco adatti all'integrazione con tecnologie impiantistiche e meccaniche sofisticate costringe all'adozione di soluzioni progettuali non particolarmente articolate, soprattutto per quanto concerne le direzioni di ventilazione dell'aria di intercapedine. Se sotto l'aspetto prettamente funzionale risulta, infatti, possibile indicare tutte le direzioni di ventilazione configurabili, in realtà solamente per specifiche e limitate soluzioni tali direzioni possono essere concretamente poste in opera. Le direzioni di ventilazione più utilizzate sono, pertanto, quella esterna e quella mista, dove la pelle interna viene interessata poco o per nulla dall'integrazione con dispositivi per la ventilazione dell'intercapedine. Tale

² I dispositivi per la ventilazione sono collocati sulla pelle esterna, in corrispondenza del settore inferiore e superiore dell'intercapedine. I vani, se delimitati verso l'esterno esclusivamente da un involucro evoluto a doppia pelle, necessitano di un impianto di ventilazione meccanica per il ricambio dell'aria; tale vincolo è determinato dall'assenza di un collegamento diretto tra l'aria interna e quella di intercapedine.

³ I dispositivi per la ventilazione sono collocati sulla pelle interna, in corrispondenza del pavimento e del soffitto di ogni vano prospiciente l'involucro. La configurazione con direzione di ventilazione interna prevede solitamente la predisposizione di un impianto meccanico di ventilazione collegato con l'intercapedine. Il ciclo di ventilazione dello spazio contenuto tra le due pelli può avvenire in modo indipendente o congiunto con il ricambio di aria degli ambienti; in quest'ultimo caso, attraverso l'intercapedine circola anche l'aria interna che viene aspirata e immessa dall'impianto di ventilazione secondo portate e velocità funzionali alla destinazione d'uso dei locali. Nelle condizioni in cui l'aria interna viene recuperata ed espulsa attraverso l'intercapedine, particolare attenzione deve essere posta al problema della sottrazione di calore dai vani nella stagione fredda e al problema della sottrazione di aria climatizzata nella stagione calda. Una variabile interessante della direzione di ventilazione interna dell'intercapedine è ottenuta utilizzando aria non proveniente direttamente dai vani antistanti l'involucro, ma da vani accessori dell'edificio, non riscaldati in inverno e non raffrescati in estate; l'aria in essi contenuta presenta, infatti, temperature superiori in inverno e inferiori in estate a quelle esterne, migliorando le prestazioni complessive dell'involucro.

⁴ L'aria contenuta nell'intercapedine può essere immessa nei vani interni o espulsa da questi ultimi attraverso l'intercapedine e, contemporaneamente, può provenire dall'esterno e verso l'esterno uscire. Questa configurazione può non prevedere un impianto meccanico di ventilazione dei vani in quanto il ricambio dell'aria interna può avvenire tramite l'intercapedine collegata con l'esterno.

classificazione inoltre è assegnabile ai sistemi opachi e trasparenti. Per quanto riguarda i sistemi traslucidi si richiama quanto già esposto al paragrafo 4.1.2.

Accanto alla direzione di ventilazione, la prima classificazione degli involucri evoluti a comportamento dinamico è relativa alla tipologia di facciata: a tutta superficie, a canali e a singoli elementi, di seguito analizzati nel dettaglio.

A tutta superficie Nella tipologia definita a tutta superficie l'intercapedine, prodotta dall'accostamento delle due pelli, ricopre senza soluzione di continuità l'intero prospetto dell'edificio.

La pelle esterna è completamente svincolata da quella interna grazie alla formazione di una unica camera d'aria il cui sviluppo corrisponde alla completa superficie dell'involucro. In questa tipologia non sono quindi presenti elementi di compartimentazione dell'intercapedine (fig. 4.14).



Figura 4.14 Esempio di facciata a tutta superficie.

Nella soluzione a tutta superficie gli elementi per la ventilazione dell'intercapedine, fissi od orientabili, si collocano in corrispondenza delle estremità superiore ed inferiore della facciata esterna, disposti uniformemente secondo lo sviluppo orizzontale del prospetto dell'edificio; si possono introdurre anche ulteriori aperture lungo lo sviluppo verticale della pelle esterna, ottenendo soluzioni mirate ad una elevata dispersione del calore accumulato nell'intercapedine nei mesi estivi.

Solitamente i dispositivi per la ventilazione sono collocati sulla pelle esterna (per il ricambio d'aria dell'intercapedine) e/o interna (per il ricambio d'aria dei vani e per il recupero di calore verso il fabbricato). La tecnologia più diffusa per il collegamento dei vani con l'intercapedine è costituita da aperture dirette, posizionate sulla pelle interna dell'involucro (ad anta e a ribalta); in alternativa, si possono disporre sulla facciata interna opportuni dispositivi (griglie), in corrispondenza di pavimento e soffitto di ogni unità ambientale che affaccia sull'intercapedine.

Principi generali di funzionamento

In condizione di elevate temperature esterne, principalmente nei sistemi trasparente ed opachi, il percorso di risalita dell'aria di intercapedine surriscaldata dai raggi solari coincide con l'estensione in altezza della facciata; l'aria fresca, posta a livello del terreno, entra in corrispondenza della base della facciata ed esce, riscaldata, alla sua sommità. Nelle aree mediterranee la tipologia a tutta superficie prevede generalmente l'ausilio dei sistemi di ventilazione meccanica, a causa della notevole estensione dell'intercapedine; estensione che induce, nei mesi estivi, ad un consistente accumulo di calore dovuto al surriscaldamento dell'aria contenuta tra le due pelli (in particolare nei sistemi trasparenti ai livelli alti dell'involucro).

In condizione di ridotte temperature esterne, con una configurazione di involucro caratterizzata da dispositivi esterni ed, eventualmente, dispositivi interni chiusi, si

determina la formazione di uno strato isolante di aria teoricamente ferma, coincidente con lo sviluppo dell'intercapedine.

L'ingresso di aria calda nell'edificio attraverso l'intercapedine può essere contemplato, nelle soluzioni miste, quando le temperature dell'aria contenuta tra le due pelli risultano tali da portare un beneficio, in termini di microclima, ai vani interni; con una configurazione mista, sempre tramite l'apertura dei dispositivi interni, è possibile, inoltre, espellere verso l'intercapedine e, di qui, verso l'esterno, il calore accumulato all'interno del fabbricato.

La gestione dell'involucro, per un corretto funzionamento del sistema, deve essere esercitata unitariamente, vincolando ad un unico apparato di comando tutti gli elementi a configurazione variabile presenti nella facciata. Risulta comunque possibile escludere specifici elementi dal controllo automatico, al fine di rendere autonome alcune funzioni legate alla gestione dei singoli vani quali, ad esempio, l'apertura di infissi nella pelle interna (se esistenti) e la posizione e l'orientamento di eventuali sistemi di oscuramento collocati nell'intercapedine.

E' indispensabile evidenziare che le alterazioni rispetto alla configurazione ottimale di tutti i componenti della chiusura (ottenuta attraverso una gestione unica e integrata) possono compromettere sensibilmente il corretto funzionamento di questa tipologia d'involucro, comprese ovviamente le condizioni microclimatiche dei singoli vani che vi si affacciano.

Caratteristiche dell'intercapedine

Le dimensioni dell'intercapedine di una facciata a tutta superficie sono funzionali alla creazione di una corretta ventilazione naturale dell'aria in essa contenuta.

L'intercapedine di questa tipologia di involucro risulta caratterizzata da un elevato sviluppo in altezza (da due a più piani dell'edificio) e da una lunghezza corrispondente all'estensione planimetrica dell'involucro evoluto a comportamento dinamico. Per mantenere un corretto rapporto dimensionale della camera d'aria è necessario quindi predisporre una profondità dello spazio compreso tra le due pelli non inferiore a 60/70 centimetri⁵. Tali approssimative misure risultano meno vincolanti qualora si utilizzi un sistema di ventilazione meccanico che, calibrato in funzione della portata di aria da movimentare, supplisce agli eventuali impropri dimensionamenti dell'intercapedine; dimensionamenti notevolmente difficoltosi, a causa delle numerose variabili, di difficile valutazione in fase progettuale, che agiscono sui movimenti dell'aria generati nell'intercapedine.

⁵ Brunoro, S., *Efficienza energetica delle facciate*, Maggioli, Rimini, 2006

Nelle famiglie di involucro che prevedono la pelle esterna trasparente, l'intercapedine di una facciata a tutta superficie assume l'aspetto e la funzione di una serra, con la necessità di contenere percorsi grigliati, generalmente ad ogni livello di piano, atti a consentire le opportune operazioni di manutenzione.

Oltre ai percorsi grigliati, nell'intercapedine sono installati anche i dispositivi di protezione solare e controllo dall'introspezione. La notevole profondità dello spazio tra le due pelli permette l'applicazione di ogni tipologia di oscuramento, dalle veneziane agli elementi frangisole, compresi i pannelli metallici.

Caratteristiche delle due pelli

La tipologia a tutta superficie, grazie alla netta separazione tra le due pelli, offre un elevato livello di autonomia progettuale, definito dalla possibilità di utilizzare tecnologie anche diverse per la composizione delle due facciate.

L'involucro interno viene di norma fissato direttamente alla struttura portante dell'edificio in quanto si colloca fisicamente in corrispondenza della superficie esterna del fabbricato e ne costituisce la chiusura diretta. Le tecnologie maggiormente utilizzate per il supporto della pelle interna si differenziano in base al materiale traslucido, opaco o trasparente la compone.

I sistemi *trasparenti* sono costituiti da facciate continue, con profili metallici a montanti e traversi ancorati direttamente al fabbricato (solette, travi o pilastri); l'applicazione di una facciata continua permette inoltre la semplice predisposizione di aperture dirette verso l'intercapedine (ad anta, a ribalta, scorrevoli), utili per la manutenzione e idonee a definire una ventilazione di tipo misto. Questa tecnologia di involucro risulta adeguata anche alla creazione di una superficie ad elevato potere isolante, con infissi a taglio termico e doppio vetro, capaci di rispondere positivamente ai requisiti imposti da ridotte temperature invernali, ma anche ad elevate temperature estive. In alternativa alle facciate continue tradizionali si possono utilizzare anche dei semplici infissi, ancorati a livello di pavimento e soffitto di ogni vano. L'uso di facciate strutturali o facciate a fissaggi puntiformi per la facciata interna è comunque contemplato nelle soluzioni in cui non è richiesto un collegamento diretto dell'intercapedine con i vani interni, rendendo però difficoltose le operazioni di manutenzione dell'intercapedine.

La pelle esterna permette invece una maggiore autonomia, sia nei sistemi di supporto che nella struttura portante della facciata; tale libertà costruttiva deriva dalla possibilità di realizzare una quinta architettonica completamente separata dalla pelle interna.

La struttura portante della facciata esterna può essere costituita dal sistema portante del fabbricato (travi, pilastri o solette) o da un sistema indipendente (a telaio, tensostrutture o elementi strutturali in vetro).

I sistemi trasparenti possono essere composti da lastre sostenute per mezzo di tutte le tecnologie di fissaggio previste dalla tecnologia (dalle facciate continue, tradizionali e strutturali, alle facciate a sostegno puntiforme), compresa quella a lamelle.

I sistemi *opachi* sono invece costituiti da strutture intelaiate tamponate con pareti multistrato isolate in laterizio o legno, dove l'isolante può essere posto come strato esterno, interno o centrale nel pacchetto di muratura. Si tratta spesso di piccoli blocchi con isolamento a cappotto, ottenendo così una continuità dello strato isolante, realizzato, per esempio, con pannelli rigidi di lana di roccia e fissati con tassellatura meccanica. Lo spessore dello strato isolante è variabile in funzione del supporto singolo o doppio. La realizzazione di soluzioni con pelle esterna opaca risulta più difficoltosa a causa del peso delle pelle stessa, che necessita attenzione nei sistemi di collegamento con quella interna.

La pelle esterna *traslucida* infine è costituita principalmente da reti metalliche o frangisole montati su supporti indipendenti o agganciati alla pelle interna.

Integrazione con gli impianti

In generale, sia nei sistemi con direzione di ventilazione mista che nei sistemi con direzione di ventilazione esterna, gli impianti di climatizzazione e ventilazione dell'edificio possono essere gestiti in conformità con il funzionamento dinamico dell'involucro. In particolare, i sistemi misti possono prevedere la gestione integrata dei dispositivi a configurazione variabile dell'involucro e dei terminali degli impianti dell'edificio (finalizzati al riscaldamento, al raffrescamento e alla ventilazione di ogni vano).

L'intercapedine di una facciata a tutta superficie può, inoltre, essere collegata ad un impianto capace di accumulare il calore recuperato nell'intercapedine.

La tipologia a canali si organizza attraverso la scomposizione dell'intercapedine in più unità distinte, allestite in modo tale da formare dei canali di ventilazione.

In funzione della conformazione fisica dei canali si identificano due diversi tipi di facciate, a canali orizzontali e a canali verticali (fig. 4.15).

Nelle facciate a canali orizzontali lo spazio compreso tra le due pelli è suddiviso in una serie di intercapedini a sviluppo orizzontale, dove ogni modulo di ventilazione corrisponde, in altezza, ad una porzione di facciata definita da un interpiano. Conseguentemente, l'involucro risulta composto da un numero di canali equivalente

A canali



Figura 4.15 Esempio di facciata a canali edificio dell'area fieristica di Hannover, progetto di Thomas Herzog, Monaco di Baviera.

al numero dei piani del fabbricato al quale è applicato l'involucro evoluto a comportamento dinamico; gli elementi di compartimentazione dell'intercapedine sono esclusivamente orizzontali e si collocano all'altezza di ogni solaio.

Le direzioni di ventilazione compatibili con questa tipologia di facciata sono del tipo esterno e del tipo misto; si evita la direzione di ventilazione interna, ad eccezione delle soluzioni in cui lo sviluppo orizzontale di ogni canale non superi la larghezza di ogni vano prospiciente l'involucro. Non si esclude, infatti, la possibilità di realizzare canali caratterizzati da uno sviluppo orizzontale inferiore a quello dell'intera facciata; in questa configurazione si identificano, lungo il medesimo livello di interpiano, compartimentazioni verticali collocate in corrispondenza dei setti di ripartizione interna dei vani.

I dispositivi per la ventilazione dell'intercapedine verso l'esterno (fissi o mobili) sono collocati in corrispondenza dell'estremità superiore ed inferiore di ogni intercapedine, alternando, per unità di ventilazione sovrapposte, le griglie di ingresso e quelle di uscita. Verso l'interno, nei sistemi misti, i dispositivi di ventilazione dell'intercapedine sono posizionati a livello di pavimento e soffitto di ogni vano prospiciente l'involucro; in alternativa alle griglie interne i dispositivi possono essere direttamente costituiti da aperture ad anta o a ribalta collocate sulla facciata che conclude i vani verso l'intercapedine.

Nelle facciate a canali verticali si prevede, invece, l'impiego di camini di ventilazione collegati direttamente ad intercapedini sovrapposte; le intercapedini sono caratterizzate da dimensioni corrispondenti, al massimo, allo sviluppo di un vano prospiciente l'involucro. I camini hanno la funzione primaria di costituire un percorso privilegiato per l'espulsione dell'aria calda di rifiuto proveniente da queste ultime.

Conseguentemente, nelle singole unità di ventilazione si collocano esclusivamente i dispositivi per l'ingresso di aria nell'intercapedine, posizionati sulla facciata esterna, mentre i dispositivi di uscita sono situati lungo gli elementi di compartimentazione che separano le intercapedini stesse con il camino di ventilazione verticale. Questa famiglia di involucri può prevedere anche camini per l'aria in ingresso, annullando completamente il collegamento di ogni intercapedine con l'esterno; tale configurazione viene predisposta quando l'aria immessa nello spazio contenuto tra le due pelli proviene da impianti specifici di ventilazione o da locali, generalmente interrati, capaci introdurre aria a temperatura controllata⁶.

⁶ L'aria dei locali interrati risulta generalmente caratterizzata da temperature inferiori a quelle esterne in condizione estiva e da temperature superiori in condizione invernale; ciò determina di introdurre nell'intercapedine aria che presenta un valore di temperatura simile a quello dei vani.

In presenza di interruzioni dell'intercapedine (come per esempio in corrispondenza di bucatore direttamente comunicanti tra l'interno e l'esterno), i canali verticali, o camini, si sviluppano verticalmente lungo la facciata e raccolgono l'aria proveniente da ogni intercapedine ad essi adiacente, convogliandola ed espellendola alla sommità dell'edificio.

In generale, la tipologia a canali orizzontali risulta più diffusa rispetto a quella a canali verticali grazie alla maggiore semplicità costruttiva anche se talvolta meno efficiente.

Principi generali di funzionamento

La tipologia a canali, sia orizzontali che verticali, prevede che ogni unità di ventilazione possa essere gestita in modo autonomo. Questa opportunità consente una notevole libertà, da parte dei fruitori dei vani affacciati sull'involucro, nella configurazione degli elementi ad assetto variabile (griglie di ventilazione, finestre della pelle interna, oscuranti, ecc.); ogni modifica nell'assetto dei dispositivi può essere predisposta, quindi, in modo indipendente per ogni canale, senza pregiudicare il corretto funzionamento delle diverse unità di ventilazione che compongono l'intero involucro.

Nelle facciate a canali orizzontali i principi di funzionamento, sia per i sistemi con direzione di ventilazione esterna che per quelli con direzione di ventilazione mista, seguono le medesime logiche evidenziate nella descrizione degli involucri a tutta superficie: al variare delle condizioni climatiche esterne le intercapedini vengono chiuse o aperte in funzione del microclima richiesto all'interno dei vani prospicienti.

L'ausilio di una ventilazione meccanica può migliorare le prestazioni dell'involucro quando le temperature esterne risultano elevate. Questa tipologia prevede però un minore accumulo di calore rispetto a quella descritta precedentemente, grazie alla ridotta estensione verticale dell'intercapedine.

Nelle facciate a canali verticali il funzionamento dell'involucro prevede l'apertura e la chiusura dell'intercapedine verso l'esterno, verso l'interno e verso il camino, in coerenza con le condizioni ambientali esterne.

In generale, i dispositivi per la ventilazione possono essere chiusi (nel caso di sistemi orientabili) quando le temperature esterne risultano inferiori rispetto a quelle dei vani interni. L'apertura dei dispositivi per la ventilazione e, nel caso di canali verticali, l'attivazione del camino vengono invece predisposte quando le temperature esterne e l'irraggiamento solare risultano tali da creare un eccessivo surriscaldamento dell'involucro.

Caratteristiche dell'intercapedine

Come per la tipologia di involucro a tutta superficie, le caratteristiche fisiche e dimensionali dell'intercapedine di un involucro a canali sono funzionali alla

formazione di una corretta ventilazione dell'aria contenuta tra le due pelli. Tale assunto assume notevole rilievo soprattutto nelle condizioni in cui la tecnologia adottata per la ventilazione dell'intercapedine è esclusivamente di tipo naturale.

Nella tipologia a canali orizzontali l'altezza dell'intercapedine viene normalmente definita dall'interpiano dell'edificio e non supera i 3/4 metri; la sua lunghezza può invece variare da una dimensione modulare corrispondente allo sviluppo longitudinale di un vano interno fino a raggiungere l'intera estensione orizzontale della facciata. La profondità dell'intercapedine, nei sistemi a ventilazione naturale, non supera pertanto i 40/50⁷ cm. Nel caso di ventilazione forzata questo valore può essere ridotto in quanto il movimento di risalita dell'aria non viene prodotto esclusivamente da fenomeni termofisici naturali.

Nelle soluzioni con canali verticali la dimensione in sezione di ogni camino (sia per l'aria in uscita che, nei casi specifici, per l'aria in ingresso) deriva dalla portata dei flussi di aria; l'altezza è regolata dallo sviluppo verticale dell'edificio. Le intercapedini collegate ai camini di ventilazione sono generalmente caratterizzate da una profondità e da un'altezza corrispondenti a quelli di una facciata a canali orizzontali e da una larghezza non superiore ad un modulo di unità ambientale.

Sia nella tipologia a canali orizzontali che nella tipologia a canali verticali la scomposizione dell'involucro in unità di ventilazione separate può essere predisposta direttamente dai telai che sostengono le facciate; in alternativa, la compartimentazione orizzontale può essere ottenuta tramite l'aggetto nell'intercapedine dei solai di interpiano o tramite l'impiego di profili metallici che hanno la funzione di separare, orizzontalmente e, nel caso, verticalmente i singoli canali di ventilazione.

La media profondità dello spazio tra le due pelli permette ancora un discreto livello di autonomia nella scelta degli elementi di protezione solare da applicare; le veneziane e le tende avvolgibili sono, comunque, le soluzioni più adeguate per rispondere alle esigenze funzionali indotte da questa tipologia di facciata.

Caratteristiche delle due pelli

Rispetto ai sistemi a tutta superficie i sistemi a canali non danno origine ad una quinta completamente distaccata dal fabbricato; l'effetto architettonico viene, infatti, attenuato dalla presenza dei dispositivi di compartimentazione (spesso costituiti direttamente dai telai di supporto di entrambe le facciate) che legano fisicamente la pelle interna a quella esterna.

⁷ Cinti, S., *Facciate a doppia pelle in Italia Verifica di applicabilità dei sistemi vetro-vetro*, tesi di Dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura, Università degli Studi di Ferrara Facoltà di Architettura, Istituto IUAV Facoltà di Architettura, Ferrara, 2004; Brunoro, S., *Efficienza energetica delle facciate*, Maggioli, Rimini, 2006.

Nella maggior parte delle soluzioni, la facciata interna è di tipo continuo e viene fissata o posata in opera, come nella tipologia a tutta superficie, alla struttura portante del fabbricato. La scelta di un tale sistema costruttivo è motivata dalla necessità di raggiungere facilmente l'intercapedine per effettuare le operazioni di manutenzione. Le facciate continue, nei sistemi completamente trasparenti, consentono, infatti, un agevole inserimento di aperture dirette (ad anta o scorrevoli), utili alla creazione di una direzione di ventilazione dell'intercapedine di tipo misto.

La possibilità di ancorare in più punti la pelle esterna a quella interna facilita l'applicazione della pelle esterna, permettendo diverse tecnologie di facciata, quali quella con struttura portante indipendente oppure con sistemi a fissaggio puntuale.

Nel primo caso il sistema di supporto della pelle esterna viene legato alla struttura portante del fabbricato attraverso opportuni profili metallici che possono contestualmente identificare anche i canali di intercapedine. Nel secondo caso la pelle esterna viene invece sostenuta da elementi puntiformi che si agganciano alla struttura della pelle interna o alla struttura portante del fabbricato.

Integrazione con gli impianti

Nelle facciate a canali orizzontali con direzione di ventilazione esterna non vi è alcuna integrazione con gli impianti dell'edificio. Come per le facciate a tutta superficie, l'integrazione con gli impianti può essere effettuata nei sistemi con ventilazione mista, dove la comunicazione tra i vani antistanti la facciata e l'intercapedine viene predisposta in accordo con la gestione del microclima interno.

Nelle facciate con direzione di ventilazione interna l'integrazione impiantistica tra l'edificio e l'involucro evoluto a comportamento dinamico è, invece, indispensabile. In questa condizione l'aria di intercapedine deve essere controllata da un sistema di ventilazione forzata che può essere coordinato o congiunto al sistema per la gestione del ricambio di aria dei vani e del microclima interno. Nella prima condizione si tratta del medesimo impianto pre-disponibile in caso di adozione di una direzione di ventilazione esterna; nella seconda, invece, è possibile prevedere l'applicazione di un sistema impiantistico in grado di gestire sia l'aria di intercapedine che l'aria dei vani interni.

Rispetto alla tipologia a canali orizzontali la tipologia a canali verticali offre in più la possibilità di recuperare con notevole semplicità il calore in uscita dalle intercapedini, in modo da poterlo dirigere verso appositi impianti di accumulo e trasferimento.

La tipologia di facciata a singoli elementi è contraddistinta dall'aggregazione sequenziale di piccole unità di ventilazione vetrate, definite celle; l'involucro risulta

A singoli elementi



Figura 4.16 Esempio di facciata a singoli elementi, uffici amministrativi, Barkow Leibinger Architekten, Ditzingen.

composto dal modulare accostamento di elementi autonomi, sia fisicamente che funzionalmente (fig. 4.16).

La ventilazione dell'intercapedine può essere di tipo naturale o meccanico. Questa tipologia contempla tutte le variabili di direzione di ventilazione, ovvero verso l'esterno dell'edificio, verso l'interno e mista.

I dispositivi necessari alla ventilazione, fissi od orientabili, vengono posizionati alla base e in sommità dell'intercapedine, a livello di pavimento e soffitto di ogni piano del fabbricato. In facciata interna possono essere costituiti, in alternativa alle griglie, anche da veri e propri infissi apribili, le cui dimensioni coincidono con quelle del modulo di ventilazione. In facciata esterna, i dispositivi di ventilazione possono essere sostituiti, ad esempio, con gli elementi apribili di un sistema a lamelle orientabili.

Principi generali di funzionamento

Il funzionamento di questa tipologia di involucro risulta analogo alla tipologia precedente, nelle logiche di apertura e chiusura delle griglie di immissione ed espulsione dell'aria di intercapedine, in funzione delle variazioni climatiche esterne e dei requisiti microclimatici interni richiesti.

Date le ridotte dimensioni dell'intercapedine è possibile, nei sistemi a singoli elementi, indurre l'aria presente tra le due facciate a percorrere una traiettoria di tipo trasversale, ottimizzando le funzioni di ventilazione di raffrescamento dell'involucro evoluto a comportamento dinamico.

La ridotta dimensione dell'intercapedine non prevede un eccessivo accumulo di calore nei mesi estivi, con la conseguente possibilità di adottare una ventilazione naturale anche nell'applicazione di involucri evoluti a comportamento dinamico in area mediterranea.

Con basse temperature esterne, nelle condizioni in cui l'intercapedine possa essere chiusa attraverso dispositivi per la ventilazione di tipo orientabile, si crea un cuscinetto di aria ferma che migliora le prestazioni isolanti della chiusura. Le caratteristiche dimensionali dell'intercapedine di questa tipologia di involucro permettono una gestione più razionale e controllata dei flussi di aria, grazie alla limitata profondità e al ridotto sviluppo dello spazio contenuto tra le due pelli (sia in condizione estiva che invernale).

La gestione di ogni modulo può essere autonoma, permettendo ad ogni utente prospiciente le celle di predisporre la configurazione desiderata; oppure può essere unitaria, agendo contemporaneamente attraverso un opportuno sistema di controllo su tutti gli elementi che compongono l'involucro.

Caratteristiche dell'intercapedine

La tipologia a singoli elementi è caratterizzata dalla presenza di celle le cui dimensioni sono funzionali alla scansione geometrica della struttura portante del fabbricato; generalmente, ogni elemento di facciata ricopre una superficie secondo una griglia regolata in funzione dello sviluppo in altezza di un interpiano e della suddivisione modulare degli ambienti interni al fabbricato (ad esempio 1/1,5 metri di larghezza e 3/3,5 metri di altezza). Pertanto, date le dimensioni di ogni cella, la profondità dell'intercapedine può non superare i 20/30⁸ cm, configurando un rapporto dimensionale del volume di aria tra le due pelli adeguato a generare corretti moti naturali di ventilazione; flussi che risultano più semplicemente valutabili e controllabili, sia in fase di progetto che in fase di gestione dell'involucro, di quelli di una facciata a tutta superficie o di una facciata a canali.

Questa tipologia di facciata prevede un elevato uso di elementi per la compartimentazione dell'intercapedine. La più semplice soluzione di compartimentazione si ottiene utilizzando direttamente i telai e i profili di supporto delle pelli che vengono dimensionati in funzione della profondità dello spazio d'intercapedine.

Le limitate dimensioni dell'intercapedine impongono l'applicazione di sistemi oscuranti semplici e di ridotto ingombro, quali le veneziane o le tende avvolgibili. L'uso delle prime, insieme alla compartimentazione rigida dell'intercapedine, permette un elevato livello di oscuramento dei vani.

Caratteristiche delle due facciate

L'esigua profondità della camera d'aria comporta una semplificazione nella struttura di sostegno dell'intero involucro che, in questo caso, si fissa direttamente a quella portante dell'edificio. A tale supporto si agganciano poi i sistemi delle due pelli che, congiuntamente, svolgono anche la funzione di separare fisicamente le intercapedini di celle attigue.

Al supporto delle due pelli si fissano, inoltre, gli elementi di aerazione dell'intercapedine, siano essi semplici griglie o bocchette (soprattutto per la pelle esterna) o porzioni apribili di facciata.

Integrazione con gli impianti

La coordinazione tra la ventilazione dell'intercapedine e la gestione del microclima interno avviene, come per le tipologie precedentemente descritte, nei sistemi che adottano una direzione di ventilazione di tipo misto o di tipo interno. Quest'ultimo sistema risulta quello che maggiormente si presta ad una gestione integrata tra

⁸ Cinti, S., *Facciate a doppia pelle in Italia Verifica di applicabilità dei sistemi vetro-vetro*, tesi di Dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura, Università degli Studi di Ferrara Facoltà di Architettura, Istituto IUAV Facoltà di Architettura, Ferrara, 2004; Brunoro, S., *Efficienza energetica delle facciate*, Maggioli, Rimini, 2006.

involucro e vano in quanto l'aria di intercapedine non entra mai in contatto con l'aria esterna; nell'adozione di una direzione di ventilazione di tipo interno, infatti, l'involucro evoluto a comportamento dinamico rappresenta un vero e proprio dispositivo complementare dell'impianto di climatizzazione dell'edificio, dove l'aria contenuta tra le due pelli viene controllata e gestita in coordinazione con il microclima interno richiesto.

Tipologie di facciata

Come per i sistemi trasparente su trasparente, le forme e le dimensioni dell'intercapedine, unitamente alla possibilità di dirigere i flussi d'aria secondo i criteri di ventilazione precedentemente individuati, danno origine alle diverse tipologie di facciata. Poiché queste ultime sono state già ampiamente descritte, si analizzano, in questo paragrafo, esclusivamente i principi generali che regolano il funzionamento delle diverse tipologie al variare delle caratteristiche fisiche e meccaniche della chiusura interna, ovvero a seconda dell'impiego di materiali pesanti o leggeri.

4.1.4 Famiglie di involucro

Gli involucri possono essere classificati secondo diverse famiglie in funzione della natura dei materiali con i quali si realizzano le due facciate. Ogni famiglia prevede il funzionamento dinamico della chiusura con variazioni, nei fenomeni fisici generati e nelle prestazioni offerte, dipendenti dalle caratteristiche dei materiali impiegati per la realizzazione delle due pelli. La tipologia di facciata adottata e la configurazione di tutti gli elementi e dei dispositivi che compongono l'involucro concorrono, insieme ai materiali adottati, nella definizione delle prestazioni complessive della chiusura.

Trasparente su trasparente

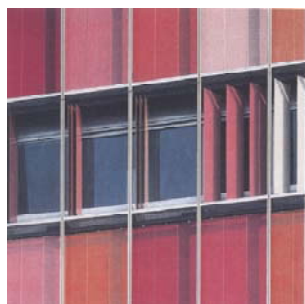


Figura 4.17 Esempio di involucro trasparente su trasparente.

Per quanto riguarda la famiglia di involucro *trasparente su trasparente* (fig. 4.17), i materiali costituenti le due chiusure possono essere diversi ma, nell'accezione comune, si intendono costituite da due superfici distinte di vetro (facciate o infissi trasparenti) applicate sulla superficie esterna dell'edificio e separate da una intercapedine d'aria. Gestendo gli stati di movimento dell'aria contenuta tra le due pelli si rende l'involucro attivo in funzione delle variazioni climatiche esterne esistenti e delle condizioni microclimatiche interne richieste; ciò avviene tramite lo sfruttamento dei principi termo-fisici di effetto serra ed effetto camino, successivamente descritti, che regolano il funzionamento climatico del sistema costruttivo.

Possono essere utilizzate tutte le tipologie di facciata previste (tutta superficie, canali, singoli elementi) e le possibili direzioni di ventilazione (esterna, interna, mista).

Questa famiglia di involucri si presta, inoltre, ad una elevata integrazione tra i diversi elementi complementari che possono comporre la chiusura nel suo insieme (compresi gli impianti di climatizzazione). Gli effetti termofisici prodotti dagli involucri di tipo trasparente su trasparente sono, principalmente, l'effetto serra e l'effetto camino.

Le due chiusure che compongono l'involucro possono essere realizzate utilizzando diverse tecnologie, sia per la struttura portante delle facciate stesse che per il sistema di supporto e fissaggio del tamponamento vetrato.

Operando una classificazione dei sistemi di supporto e fissaggio delle lastre in vetro, si individuano le seguenti tipologie di facciata utilizzabili nel trasparente su trasparente:

- *facciate continue tradizionali*, le lastre di tamponamento in vetro sono fissate, attraverso connessioni meccaniche continue, ad un telaio metallico, a "montanti e traversi", che si lega alla struttura portante dell'edificio o ad una ulteriore struttura indipendente atta a sostenere la facciata stessa;
- *facciate continue strutturali*, le lastre di tamponamento sono fissate ad un telaio metallico di supporto (a montanti e traversi) per mezzo del silicone strutturale; a questo materiale è affidata la funzione di trasferire, attraverso una soluzione di vincolo elastico, il carico costituito dal peso delle lastre di vetro alla struttura portante della facciata, in alluminio o acciaio;
- *facciate a fissaggi puntiformi*, questo sistema di supporto delle lastre prevede che i moduli costituenti il tamponamento siano vincolati alla struttura portante della facciata o all'edificio stesso (montanti in acciaio, travi o solette in cemento armato) mediante puntuali elementi metallici di raccordo in acciaio o in alluminio;
- *facciate a lamelle*, il tamponamento vetrato è costituito dall'accostamento di elementi modulari di forma lamellare (orizzontali o verticali). Le lamelle vengono fissate, tramite puntuali collegamenti metallici, ad una struttura portante di supporto.

Si possono invece considerare appartenenti alla famiglia *trasparente su opaco* (fig. 4.18) gli involucri composti da una chiusura interna opaca (laterizio, legno, ecc.) e da una chiusura esterna trasparente (vetro); in ogni caso, la facciata esterna, per la funzione che svolge e per gli effetti termo-fisici dell'aria di intercapedine che devono essere generati, è sempre vetrata. Questi sistemi si differenziano dai sistemi trasparente su trasparente per la presenza di materiali diversi nella composizione delle due facciate che configurano l'involucro. La pelle esterna, per la funzione che



Figura 4.18 Esempio di involucro trasparente su opaco.

svolge e per gli effetti fluidodinamici dell'aria di intercapedine che devono essere generati (effetto serra ed effetto camino), è sempre tamponata in vetro. La pelle interna è invece realizzata con uno o più materiali opachi, tra cui il legno, il laterizio, la pietra e la ceramica, posati singolarmente o in soluzioni multistrato. Questa famiglia offre prestazioni diverse rispetto a quelle fornite dai sistemi completamente trasparenti tramite le proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che compongono la chiusura interna.

Il comportamento complessivo di tali involucri, sia nella condizione estiva che in quella invernale, risulta quindi sensibilmente differente: l'interruzione nel passaggio dei raggi solari verso l'interno e il rendimento in relazione all'isolamento e all'inerzia termica provocano, infatti, un funzionamento dinamico differente. Le diversità tra i due sistemi risultano particolarmente evidenti anche in ambito architettonico: il concetto di smaterializzazione e gli attributi di trasparenza che qualificano il trasparente su trasparente vengono parzialmente o completamente annullati in questa famiglia. Pur mantenendo un'immagine esterna caratterizzata dalla presenza del vetro, al trasparente su opaco si possono nuovamente attribuire i significati tradizionali di elemento di chiusura, di separazione tra esterno ed interno e di protezione visiva.

I principi costruttivi che regolano la tecnologia trasparente su opaco, se da un lato riprendono concetti che possono essere considerati come ormai tradizionali del modo di costruire, da un altro possono essere riconosciuti come nuove interpretazioni e adattamenti di innovazioni ormai già diffuse sul mercato. Questa famiglia di involucro può infatti essere considerata come il risultato dell'elaborazione tecnologica di chiusure tradizionali (dalla classica chiusura opaca alla facciata ventilata, al muro di Trombe, al principio della serra) ottenuta attraverso l'applicazione di materiali e logiche (funzionali e dinamiche) utilizzate nei sistemi completamente trasparenti. Il funzionamento attivo della chiusura verso l'esterno viene gestito, anche in questo caso, attraverso aperture o griglie poste in corrispondenza della facciata esterna vetrata, adatta ad accogliere agevolmente i dispositivi a configurazione variabile. Come nei sistemi precedenti, i dispositivi per la ventilazione aperti permettono l'aerazione dell'intercapedine, favorendo l'effetto camino innescato dall'irraggiamento solare e attivando il conseguente raffrescamento della facciata interna; a dispositivi chiusi, l'effetto serra, che si genera tra i due involucri, determina la formazione di un cuscinetto di aria capace di isolare termicamente e di cedere calore alla facciata interna che lo accumula e lo trasmette poi ai vani retrostanti. Per portare verso l'interno il calore recuperato dall'intercapedine la tecnica più semplice consiste, invece, nello sfruttamento degli

infissi posizionati in corrispondenza delle interruzioni dell'involucro interno, dedicate all'illuminazione naturale dei vani; aprendo direttamente gli infissi o inserendo in essi griglie di ventilazione a configurazione variabile, si ottiene un collegamento diretto tra il fabbricato e l'intercapedine.

In condizioni di elevate temperature esterne il funzionamento del sistema di facciata è invece essenzialmente caratterizzato dalla ventilazione dell'intercapedine attraverso l'involucro esterno.

Le dimensioni dell'intercapedine sono, come nelle soluzioni completamente trasparenti, funzionali ad una corretta circolazione dell'aria contenuta tra le due facciate.

Assume un ruolo significativo in questo ambito anche l'introduzione di un nuovo campo di applicazione della tecnologia, offerto dal mercato della ristrutturazione edilizia: ad una pelle tradizionale esistente può, infatti, essere affiancata una pelle aggiuntiva in vetro che ottimizza le prestazioni correnti e ne aggiunge di nuove.

Nell'ambito della nuova costruzione, invece, gli involucri trasparente su opaco possono essere utilizzati come soluzione alternativa al trasparente su trasparente, oppure, come più comunemente avviene, può costituire una variante di quest'ultima, una trasformazione parziale e limitata a specifici settori dell'involucro, capace di rispondere in modo compiuto alle diverse esigenze che possono manifestarsi nella complessa progettazione ambientale di un edificio (grande o piccolo che sia). Ad esempio, in un medesimo fabbricato, gli involucri completamente trasparenti possono diventare un sistema misto quando specifiche richieste di controllo dall'introspezione lo richiedono, oppure quando definiti vincoli distributivi necessitano di una suddivisione dei vani interni che non si può coniugare con il rigido schema modulare della facciata esterna vetrata; dietro l'involucro interno opaco possono, infatti, trovare spazio tramezzature che scompongono i volumi retrostanti la facciata trasparente secondo organizzazioni volumetriche interne altrimenti incongrue con il ritmo formale scandito da una struttura vetrata. Attraverso l'opportunità di rendere opachi parziali settori dell'involucro si rende la tecnologia applicabile anche in destinazioni d'uso che normalmente non consentirebbero l'impiego di chiusure completamente vetrate, mantenendo un'immagine unitaria, scandita esternamente dallo stesso involucro trasparente e internamente da porzioni trasparenti e porzioni opache.

Da queste prime considerazioni risulta chiaro come i materiali e le tecnologie utilizzabili per le due pelli (interna ed esterna) risultano estremamente differenti tra loro. La libertà progettuale che deriva da tale varietà costruttiva non è però esente da

limitazioni; la tecnologia e i materiali adottati per realizzare l'involucro interno influenzano, infatti, sensibilmente le scelte nella definizione della struttura portante e del sistema di supporto dell'involucro esterno vetrato.

Per chiarire quali sono le relazioni di tipo tecnologico e costruttivo che vincolano la progettazione di un sistema misto è opportuno classificare quest'ultimo in funzione della natura dei materiali impiegati per realizzare la chiusura interna.

Involucro realizzati con facciate interne pesanti

Le facciate interne di tipo pesante sono generalmente realizzate con tecnologie costruttive che adottano materiali tradizionali, tipici soprattutto delle aree geografiche mediterranee, ovvero di località che richiedono agli involucri prestazioni rispondenti ad un clima contraddistinto da elevate temperature estive. Queste facciate sono, pertanto, caratterizzate dalla presenza di materiali dotati di un'elevata massa; a tale proprietà fisica dei materiali impiegati corrisponde una notevole inerzia termica delle facciate, rendendole capaci di reagire alle sollecitazioni climatiche esterne attraverso l'accumulo del calore (indotto dall'irraggiamento solare) e la successiva lenta cessione dello stesso nel tempo. Si tratta principalmente di murature o setti costruiti con materiali da posare in opera in spessori anche notevoli (spessore minimo 15/20 cm).

Si ritrovano sia murature a piccoli elementi di laterizio, pietra o calcestruzzo, che setti, sempre in calcestruzzo o laterizio. In generale, si tratta di sistemi costruttivi che non utilizzano i principi delle tecnologie a secco e che, a causa delle necessità costruttive che regolano la loro posa in opera, devono essere assemblati direttamente in cantiere.

Le maggiori condizioni di vincolo, nella definizione del sistema portante delle due pelli, sono indotte dall'involucro interno, caratterizzato, rispetto a quello esterno, da una limitata autonomia costruttiva. La tecnologia con cui viene realizzata la pelle interna influisce notevolmente nella determinazione del sistema portante della pelle esterna e, di conseguenza, nella scelta della tipologia di facciata.

L'involucro interno può essere realizzato attraverso due tecnologie principali:

- muratura portante, la struttura portante del fabbricato coincide con la pelle interna, generalmente realizzata con un sistema costruttivo a piccoli elementi posati a malta. Di conseguenza, il sistema di supporto della pelle esterna può essere costituito da un telaio indipendente, fisicamente distanziato dalla muratura; esso può essere sostenuto dalla stessa, attraverso elementi di collegamento fissati in più punti, oppure può appoggiare direttamente a terra o alle solette di interpiano del fabbricato. In alternativa la pelle esterna può essere direttamente fissata alla pelle interna

in muratura per mezzo di elementi puntali di collegamento, realizzando un sistema di tipo sospeso;

- muratura di tamponamento, realizzata con piccoli elementi o pannelli prefabbricati, sostenuta dal telaio portante del fabbricato. Questa configurazione della pelle interna rende l'involucro trasparente su opaco simile a quello trasparente su trasparente; la pelle esterna può, quindi, essere sostenuta a fissata attraverso le medesime tecnologie individuate per la famiglia precedente.

Le tipologie che meglio si adattano alle chiusure interne pesanti sono quelle a tutta superficie e a canali, caratterizzate da una ridotta integrazione tra la pelle interna e quella esterna. La tipologia a singoli elementi si impiega con difficoltà, per la necessaria sovrapposizione di due sistemi differenti, quello delle celle e quello della pelle interna in muratura. Queste considerazioni sono ancora più evidenti nel caso dell'applicazione di una nuova pelle in vetro ad un edificio esistente, dove la scelta della tipologia di facciata si confronta con una chiusura già costruttivamente definita e, spesso, difficilmente integrabile con sistemi ad elevato livello tecnologico. In tali condizioni si prediligono soluzioni d'involucro che adottano facciate esterne staticamente e fisicamente indipendenti da quelle interne, rendendo più coerente l'applicazione di una tipologia a tutta superficie.

Involucri realizzati con facciate interne leggere

La famiglia trasparente su opaco in materiali leggeri si differenzia dalla precedente per la natura del materiale, o dei materiali, con cui viene realizzata la pelle interna. In queste soluzioni, generalmente ottenute con l'impiego di tecnologie a secco, vengono applicati materiali in spessori sottili, dotati di un ridotto peso specifico, che alle prestazioni offerte dall'inerzia termica (tipica dei materiali pesanti) sostituiscono quelle offerte dall'isolamento. Si possono considerare queste facciate come tecnologie, di origine tradizionale, adeguate ad aree geografiche caratterizzate da un clima rigido di tipo continentale.

I materiali utilizzati sono posati in pannelli composti da sottili strati, uniti a formare un unico elemento dotato di un rivestimento esterno (verso l'intercapedine), un rivestimento interno (verso gli ambienti) ed un tamponamento. Per conferire proprietà termiche al pannello si utilizzano materiali isolanti, mentre per i rivestimenti esterni la gamma dei materiali risulta oggi estremamente vasta, dal legno, al metallo, pietra, ceramica, vetro, cartongesso, ecc., applicabili in funzione di scelte architettoniche e funzionali puntualmente definite.

I principi costruttivi che regolano la struttura portante di entrambe le pelli sono i medesimi. Sia il vetro della pelle esterna che i pannelli opachi della facciata interna

necessitano, infatti, di un telaio di supporto che svolga la funzione di sostegno. La facciata interna risulta, di conseguenza, direttamente fissata alla struttura portante del fabbricato, mentre quella esterna può essere a quest'ultima agganciata o sostenuta da un telaio indipendente.

La configurazione complessiva del trasparente su opaco in materiali leggeri risulta simile a quella del sistema trasparente su trasparente, sia per la tecnologia costruttiva utilizzabile (composta, in entrambe le facciate, da un telaio di supporto e un tamponamento in pannelli) che per il funzionamento; in alcune soluzioni le due tecnologie possono addirittura coincidere, come nel caso in cui determinate pannellature trasparenti della pelle interna vengono sostituite con elementi opachi (ad esempio nelle velette dei solai fino all'altezza del bancale delle finestre).

La similitudine di questi involucri con i sistemi completamente trasparenti comporta quindi una sostanziale compatibilità con tutte le tipologie di facciata esistenti e tutte le direzioni di ventilazione; i sistemi a secco, inoltre, dato il loro elevato potenziale tecnologico raggiungibile grazie al notevole livello di prefabbricazione, risultano idonei a accogliere anche i dispositivi di gestione più complessi.

Il funzionamento dinamico del sistema coincide, sia nella condizione estiva che in quella invernale, con quello dei sistemi trasparente su trasparente, con la sola differenza prestazionale definita dalle proprietà fisiche del tamponamento interno opaco.

Elementi complementari

Gli elementi complementari alle due pelli, necessari per permettere il funzionamento dinamico dell'involucro, sono i medesimi utilizzati per la famiglia trasparente su trasparente; alcune sostanziali variazioni risultano però opportune a causa della presenza di materiali diversi dal vetro che introducono determinate condizioni di vincolo.

Se nella pelle esterna gli elementi per la ventilazione dell'intercapedine possono essere utilizzati secondo le medesime logiche individuate nei sistemi completamente trasparenti, nella pelle interna risultano applicabili con maggiore difficoltà; in particolare, l'adozione di materiali pesanti rende la facciata interna poco integrabile con griglie e dispositivi meccanici complessi, limitando la permeabilità della chiusura all'aria di intercapedine. La direzione di ventilazione prevalentemente utilizzata è, pertanto, quella esterna. In alternativa, per definire un sistema con direzione di ventilazione mista, si possono utilizzare aperture dirette sulla pelle interna verso l'intercapedine. Tali aperture vengono inserite utilizzando i classici canoni progettuali che regolano la collocazione di finestre negli involucri tradizionali; esse svolgono anche la funzione di permettere l'accesso all'intercapedine per eseguire le operazioni

di manutenzione. La visione dall'esterno di questi involucri coincide con una facciata opaca, interrotta regolarmente da elementi trasparenti e rivestita da una ulteriore pelle vetrata.

Negli involucri con facciate interne leggere l'inserimento dei dispositivi per la ventilazione risulta più semplice in quanto le caratteristiche fisiche del sistema tecnologico della pelle interna sono simili a quelle della pelle esterna vetrata.

I dispositivi di protezione solare e di controllo dall'introspezione, generalmente posizionati nell'intercapedine, vengono applicati esclusivamente in corrispondenza delle aperture collocate sulla pelle interna. I materiali e i sistemi utilizzabili possono essere diversi, ma i più diffusi, per le prestazioni offerte in relazione alla funzione svolta, sono le veneziane. Diversamente, possono essere impiegati tradizionali sistemi di oscuramento quali le tapparelle, direttamente integrate con l'infisso della finestra presente nella facciata opaca interna.

Negli interventi di retrofit si possono mantenere anche i dispositivi già presenti nell'involucro (persiane, tapparelle, ecc.) purché dimensionalmente coerenti con il volume dell'intercapedine ottenuto con l'applicazione della seconda facciata vetrata ad una specifica distanza dalla chiusura esistente.

Gli elementi di compartimentazione e di fruizione dell'intercapedine si applicano, nelle tipologie di facciata compatibili con la presenza di tali dispositivi, seguendo i medesimi criteri progettuali adottati per il trasparente su trasparente.

I sistemi per l'incremento della ventilazione dell'intercapedine (ventilatori) possono essere utilizzati anche nelle soluzioni miste. E' opportuno precisare però che le tecnologie di involucro che adottano chiusure interne di tipo pesante risentono in misura minore del surriscaldamento dell'aria di intercapedine rispetto a quelli che utilizzano per il tamponamento della facciata interna pannelli leggeri o vetro. Ciò è dovuto alla presenza di materiali dotati di elevata massa che permettono un maggiore controllo del calore in entrata nei vani.

I sistemi per l'automazione degli elementi a configurazione variabile dell'involucro possono essere adottati seguendo i medesimi criteri impiegati per gli involucri completamente trasparenti; generalmente, date le caratteristiche fisiche e meccaniche della pelle interna (che può definirsi di per sé autonoma sotto il profilo funzionale e prestazionale) vengono collegati ai sistemi per l'automazione esclusivamente gli elementi collocati nella facciata esterna (griglie di ventilazione) e nell'intercapedine (ventilatori e dispositivi di protezione solare).

Opaco su opaco



Figura 4.19 Esempio di involucro opaco su opaco.

Rispetto ai due sistemi precedentemente descritti, la presenza del vetro, in una o in entrambe le chiusure, rende tali sistemi differenti dalla famiglia opaco su opaco (fig. 4.19): quest'ultima, infatti, risulta sempre composta da due diaframmi realizzati con materiali opachi.

Soprattutto nel contesto geografico di riferimento, l'umidità può compromettere gravemente le prestazioni degli edifici. La penetrazione di acqua piovana è ridotta al minimo e il ricircolo dell'aria facilita l'eliminazione della condensa dalle apposite aperture. Numerose sono le funzioni dell'intercapedine ventilata: il ricircolo dell'aria, per tutta l'altezza dell'edificio, è dovuto ai differenziali termici e di pressione dell'aria. In presenza di un clima freddo questo fenomeno limita la formazione di condensa nella parte posteriore del rivestimento. In presenza di un clima caldo il movimento dell'aria raffredda gli strati interni della costruzione ed elimina naturalmente l'acqua piovana e la condensa, mantenendo però le prestazioni dell'isolante posizionato solitamente dietro all'intercapedine ventilata: la sua profondità minima non deve essere inferiore a 20/25 cm per garantire un sufficiente moto dell'aria, anche se il funzionamento ottimale del sistema avviene con intercapedini di 40-50 cm, praticabili anche ai fini manutentivi. Inoltre, un valore di $200 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ è sufficiente per la presa d'aria e aperture di ventilazione per la ventilazione naturale.

Il livello di integrabilità con i dispositivi complementari utilizzabili per un involucro evoluto è decisamente ridotto. Difficilmente è, inoltre, possibile attuare una integrazione tra il sistema di facciata e gli impianti di climatizzazione.

Traslucido su trasparente Traslucido su opaco



Figura 4.20 Esempio di involucro traslucido su trasparente.



Figura 4.21 Esempio di involucro traslucido su opaco.

Per quanto riguarda infine le famiglie di involucro in cui la pelle esterna è costituita da materiali traslucidi (*traslucido su trasparente* e *traslucido su opaco* fig. 4.20 e 4.21), vengono messe in campo soluzioni legate principalmente alla protezione dai raggi solari diretti e all'ombreggiamento:

la pelle esterna, in questa famiglia di involucri, è caratterizzata da un elevato livello di permeabilità a luce e aria, variabile in funzione del materiale utilizzato (reti metalliche, frangisole, tessuti, ecc.); separata da quella interna dallo spazio di intercapedine, è solitamente costituita da un singolo strato. Si tratta per lo più di facciate a lamelle i cui collegamenti possono essere realizzati in modo tale da permettere anche la rotazione dei frangisole secondo un asse orizzontale o verticale. Con la tecnologia a lamelle si ottengono facciate che offrono il beneficio di comporre una superficie costituita da elementi orientabili che consentono di definire configurazioni variabili in funzione delle condizioni di illuminamento esterno e della ventilazione di intercapedine richiesta;

la pelle interna, invece, è tamponata in vetro (facciate o infissi) o in materiali opachi. La pelle interna svolge la principale funzione di chiusura; essa può essere costituita da una soluzione costruttiva che non offre prestazioni dinamiche, oppure, può essere già realizzata impiegando una tipologia costitutiva a strati paralleli contigui, prefigurando un sistema complesso ottenuto dalla composizione di due tipologie costitutive. Come per la famiglia di involucro trasparente su trasparente la pelle interna può essere costituita da *facciate continue tradizionali* (il telaio che regge le lastre, in alluminio, acciaio o legno, risulta visibile sia sulla superficie esterna che sulla superficie interna della facciata con variazioni fisiche, meccaniche ed estetiche che dipendono dalle caratteristiche dimensionali e tecnologiche dello stesso); *facciate continue strutturali* (la struttura portante della facciata può essere direttamente fissata al telaio dell'edificio, solette e/o pilastri, o costituire un elemento autonomo da esso indipendente, la facciata risulta conseguentemente caratterizzata da una superficie vetrata senza soluzione di continuità, dove il telaio metallico, non direttamente visibile, è collocato nel retro della chiusura. Generalmente, le facciate continue strutturali, per la configurazione fisica e meccanica degli elementi che le compongono, vengono utilizzate per realizzare la chiusura esterna della doppia pelle. Sia le facciate continue tradizionali che quelle strutturali permettono un elevato isolamento termico dell'involucro, grazie alla possibilità di adottare soluzioni con telai a taglio termico e doppi vetri); *facciate a fissaggi puntiformi* (la lastra di vetro, semplice o in soluzione isolante, risulta distanziata e sostenuta, tramite una specifica articolazione, dalla struttura di supporto retrostante).

Si tratta perciò solitamente di sistemi di oscuramento composti da differenti elementi (serie modulare di pale, reti metalliche, elementi discontinui verticali od orizzontali a seconda dell'orientamento) che vengono posti all'esterno, come seconda pelle.

L'intercapedine non svolge alcuna funzione se non quella di distanziare le due pelli e le sue caratteristiche geometriche (profondità e altezza) non influiscono sensibilmente nella definizione delle prestazioni complessive dell'involucro. Lo spazio di intercapedine può essere sfruttato attraverso l'inserimento di passerelle o mediante l'aggetto di solai, aumentando l'ambito planimetrico di fruizione dell'edificio e prefigurando, eventualmente, una ulteriore soluzione complessa

La dinamicità delle prestazioni è ottenuta attraverso l'innescio dei fenomeni fisici indotti dai materiali utilizzati per la pelle interna (con prestazioni variabili in funzione del loro spessore e della loro posizione) e dalla configurazione fisica e funzionale dei sistemi costruttivi adottati per comporre la pelle esterna. Quest'ultima aggiunge nuove prestazioni, funzionali prevalentemente al modificarsi dei fattori esterni che agiscono sull'involucro.

Queste soluzioni hanno perciò principalmente lo scopo di abbattere il carico termico solare assicurando un microclima confortevole all'interno dell'edificio e di consentire l'ingresso di luce diurna all'interno dei locali mantenendo il contatto visivo con l'esterno ma eliminando l'abbagliamento diretto dei raggi del sole. Soluzioni significative, diffuse nel mercato, sono legate all'impiego di seconde pelli in reti metalliche, per le quali non è ancora possibile stabilire con certezza le proprietà termiche, ma l'approfondimento di casi studio realizzati può fornire elementi interessanti di valutazione.

Le tipologie prevalentemente utilizzate sono a tutta superficie e a canali. La direzione di ventilazione non è definibile in maniera assoluta, ma si può approssimare ad un comportamento di tipo esterno o misto. Presenta un ridotto livello di integrabilità con gli impianti di climatizzazione.

Esistono diversi punti di contatto tra le varie famiglie: ad esempio dalle facciate ventilate, i sistemi completamente trasparenti traggono il principio generale di funzionamento (definito dalla ventilazione dello spazio contenuto tra le due chiusure), ma ne superano i limiti di applicabilità grazie alla formazione di un'intercapedine trasparente, ispezionabile e più agevolmente controllabile nella formazione degli effetti fluidodinamici dell'aria presente al suo interno.

Queste ed altre considerazioni, insieme all'analisi puntuale dei fenomeni fisici correlati di seguito descritti, costituisce la base per l'approfondimento delle differenti soluzioni possibili di involucro evoluto a comportamento dinamico.

4.2 Fenomeni fisici correlati

I principi generali che regolano il funzionamento di un involucro evoluto a comportamento dinamico si basano sulla formazione di naturali fenomeni fisici e dinamici: al variare delle condizioni ambientali, l'origine e la gestione di tali fenomeni dipendono dalle caratteristiche fisiche, meccaniche e funzionali della chiusura nella sua complessità. Chiusura che, in termini costruttivi, risulta appunto sempre costituita da due pelli separate da un'intercapedine aerata.

La scelta di materiali e tecnologie con cui si realizzano le due pelli e la gestione, più o meno controllata, dell'aria di intercapedine costituiscono gli strumenti attraverso i quali è possibile innescare i fenomeni fisici e dinamici citati. Uno dei principali elementi da monitorare, controllare e gestire è quello relativo alla trasmissione di calore: gran parte dei fenomeni fisici innescati può essere ricondotto a questo aspetto. La trasmissione di calore può avvenire per irraggiamento o per convezione:

attenzione particolare deve essere posta a questi fenomeni se ci si trova in presenza di uno spazio confinato a conformazione bidimensionale. I fenomeni fisici innescati vengono poi trasformati in prestazioni e possono essere così individuati:

- ventilazione naturale, in presenza di un riscontro d'aria;
- ventilazione meccanica con l'ausilio di dispositivi integrati nell'involucro;
- effetto serra, per opera della pelle esterna;
- effetto camino, per la rarefazione dell'aria dell'intercapedine;
- isolamento termico
- inerzia termica.

Possono, inoltre, essere generati fenomeni ulteriori, a seconda della configurazione specifica dell'involucro:

- dissipazione dell'onda sonora incidente, per compressione della massa d'aria;
- tenuta all'acqua ed all'aria, per pressurizzazione dell'intercapedine;
- controllo del flusso luminoso, per riflessione e protezione solare tramite schermature;
- controllo della condensazione, per isolamento e ventilazione.

Seguendo una schematizzazione generale, gli stati di movimento o inerzia dell'aria presente nell'intercapedine possono essere gestiti rendendo l'involucro attivo in funzione delle variazioni climatiche: ad esempio, il movimento dell'aria di intercapedine è ottenuto sfruttando l'effetto naturale di risalita della stessa definito come effetto camino. Esso è generato dal surriscaldamento dell'aria ad opera delle radiazioni solari incidenti e dalla differenza di temperatura e pressione presenti all'interno e all'esterno dell'intercapedine. In presenza di ridotte temperature esterne, chiudendo l'intercapedine, s'impedisce l'ingresso di aria fredda nello spazio tra le due pelli; con tale operazione viene ridotta la circolazione e la velocità dell'aria situata all'interno delle due facciate, creando un cuscinetto isolante che migliora le prestazioni termiche della frontiera. La temperatura dell'aria interna di intercapedine, riscaldata dai raggi solari incidenti, si attesta in un valore intermedio tra esterno ed interno dell'edificio; il calore accumulato viene ceduto ai locali del fabbricato attraverso la superficie della pelle interna.

Nel caso di temperature esterne elevate invece, il surriscaldamento dell'aria di intercapedine produce dei moti convettivi (effetto camino) alimentati dalla presenza di uno spazio tra le due pelli direttamente collegato con l'esterno; tale ventilazione ha la funzione di espellere il calore in eccesso.

4.2.1 Trasmissione del calore per irraggiamento all'interno di uno spazio confinato



Figura 4.22 Un corpo caldo in un contenitore vuoto scambia calore solo per irraggiamento.

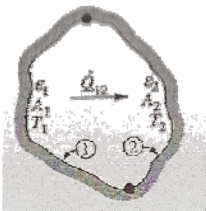


Figura 4.23 Schema di cavità a due superfici

Si consideri un corpo caldo collocato in un vano le cui superfici sono a temperatura ambiente (fig. 4.22): il corpo si raffredda e raggiunge l'equilibrio termico con l'ambiente, perdendo calore finché la sua temperatura non uguaglia quella delle pareti del vano. La trasmissione di calore tra il corpo e la camera avviene attraverso un fenomeno legato alla emissione di energia interna sensibile dal corpo: l'irraggiamento.

Considerato uno spazio confinato costituito da due superfici opache a temperatura fissata, come mostrato in figura 4.23, per determinare lo scambio di calore (in termini di potenza termica netta scambiata) per irraggiamento tra le due superfici devono essere considerate le emissività ε_1 , ε_2 , l'area superficiale A_1 e A_2 e le temperature uniformi T_1 e T_2 . Poiché lo spazio confinato è formato soltanto da due superfici, si ha che la potenza termica scambiata per irraggiamento tra la superficie 1 e la 2 deve essere uguale a quella trasmessa dalla superficie 1 e quella trasmessa alla superficie 2 ($Q_{12} = Q_1 = -Q_2$).

Per questo spazio la radiazione tra le due superfici consiste di due resistenze superficiali e di una resistenza spaziale. È possibile effettuare una similitudine con la corrente elettrica: la resistenza connessa in serie si calcola dividendo la differenza di potenziale tra i punti A e B per la resistenza totale tra gli stessi due punti; per analogia la potenza termica netta trasmessa per irraggiamento è:

$$\dot{Q}_{12} = \frac{E_{r1} - E_{r2}}{R_1 + R_{12} + R_2} = \dot{Q}_1 = -\dot{Q}_2$$

Questo importante risultato è applicabile a qualsiasi coppia di superfici opache, grigie e diffondenti che delimitino uno spazio confinato.

4.2.2 Convezione naturale in uno spazio confinato

Considerando ancora un corpo caldo lasciato su una superficie fredda, questo si raffredda fino a raggiungere la temperatura dell'aria circostante. Il corpo si raffredda per effetto della trasmissione di calore per convezione all'aria e per irraggiamento verso le superfici circostanti.

Poiché l'aria a contatto con il corpo è a temperatura più elevata, la sua densità sarà più bassa⁹. Si ha quindi che un gas leggero (cioè a bassa densità) è circondato da uno pesante (cioè a più alta densità), per cui il gas leggero sale per effetto di una

⁹ A pressione costante la densità di un gas è inversamente proporzionale alla sua temperatura.

legge naturale. L'aria calda sale e lo spazio così liberato è occupato da aria più fredda, che venendo a contatto con il corpo caldo ne accelera il processo di raffreddamento. La salita di aria più calda e il riflusso di aria più fredda continuano fino a quando il corpo non si è raffreddato, vale a dire ha raggiunto la temperatura dell'aria ambiente. Il movimento risultante dalla continua sostituzione dell'aria riscaldata in prossimità del corpo con aria più fredda è detto *corrente di convezione naturale*, mentre la trasmissione di calore per effetto di questa corrente di convezione naturale è chiamata *trasmissione termica per convezione naturale*. In assenza di correnti di convezione naturale, la trasmissione del calore dal corpo all'aria circostante avverrebbe per sola conduzione e la potenza termica scambiata sarebbe molto minore. La convezione naturale ha luogo sia nel riscaldamento di superfici fredde in un ambiente più caldo, sia nel raffreddamento di superfici calde in un ambiente più freddo le direzioni del moto del fluido nei due casi sono opposte.

La trasmissione di calore per convezione naturale su una superficie dipende dalla geometria della superficie e dal suo orientamento. Essa dipende pure dalla variazione di temperatura sulla superficie e dalle proprietà termo-fisiche dell'aria.

I profili di temperatura e di velocità nel caso di convezione naturale su una superficie verticale calda, a contatto con l'aria in quiete, sono riportati in figura 4.24. Lo spessore dello strato limite aumenta nella direzione del flusso, mentre la velocità dell'aria è nulla sia a contatto con la superficie che sul bordo esterno dello strato limite di velocità, in quanto il fluido fuori dallo strato limite è in quiete. Quindi, la velocità del fluido aumenta con la distanza dalla superficie, raggiunge un massimo e gradualmente diminuisce fino a zero a una distanza sufficientemente lontana dalla superficie stessa.

Pur essendo ben noto il fenomeno della convezione naturale, la complessità del moto dell'aria rende molto difficile ottenere relazioni analitiche semplici per la trasmissione del calore risolvendo le equazioni del moto e dell'energia. Per la convezione naturale esistono alcune soluzioni analitiche, che però mancano di generalità, perché ottenute per geometrie semplici sotto certe ipotesi semplificative. Con l'eccezione di pochi casi semplici, le relazioni di scambio termico in convezione naturale sono dunque basate su studi sperimentali¹⁰.

Lo studio della trasmissione del calore in uno spazio confinato, come potrebbe essere un intercapedine di aria, è uno dei casi complessi a cui si è appena accennato, poiché l'aria di solito non rimane completamente ferma: l'aria adiacente alla parete più calda sale, mentre il fluido adiacente alla parete più fredda scende,

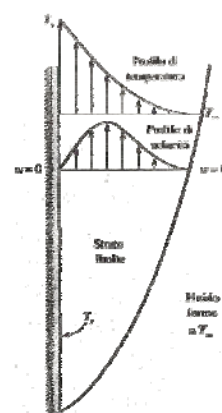


Figura 4.24 Profili tipici di velocità e di temperatura per flusso di convezione naturale su una piastra calda verticale a temperatura T_s in un fluido a temperatura T_∞ .

¹⁰ Per una trattazione più dettagliata si rimanda il capitolo 6.

dando luogo ad un moto convettivo e che aumenta lo scambio termico attraverso l'intercapedine.

La potenza termica trasmessa attraverso uno strato di spessore δ , area superficiale A e conducibilità termica λ è

$$Q_{\text{cond}} = \lambda A \frac{T_1 - T_2}{\delta}$$

dove T_1 e T_2 sono le temperature sulle superfici esterne delle due pelli che costituiscono l'involucro.

Il comportamento delle intercapedini d'aria è termodinamicamente importante: elemento fondamentale dell'intercapedine è lo spessore poiché da esso dipende la possibilità di avere convezione dell'aria interna o non. Di seguito sono riportati nel dettaglio questi due casi.

Intercapedine d'aria con convezione interna

Quando l'intercapedine supera i 2 cm di spessore si può avere convezione termica dell'aria interna. Il calore viene quindi trasmesso sia per convezione dell'aria all'interno dell'intercapedine che per irraggiamento fra le facce contrapposte degli strati che la determinano ed essendo un collegamento in parallelo (sono eguali le temperature della facce esterne dell'intercapedine, T_{11} e T_{12}) si ha:

$$1/R_i = 1/h_r + 1/h_c$$

dove

R_i resistenza termica dell'intercapedine, ($\text{m}^2\text{K/W}$),

h_r coefficiente di irraggiamento fra le facce esterne dell'intercapedine, ($\text{W/m}^2\text{K}$),

h_c coefficiente di convezione dell'aria fra le facce esterne dell'intercapedine, ($\text{W/m}^2\text{K}$).

La difficoltà di conoscere h_c a causa della complessità del fenomeno convettivo (verso l'alto, verso il basso, pareti verticali, pareti orizzontali, parete inclinate, ecc.) consigliano di calcolare R_i sperimentalmente per le varie situazioni possibili. I manuali specializzati riportano i valori ricorrenti nelle applicazioni, in questa sede vengono riportati soltanto alcuni casi (vedi tabella 1).

Intercapedine d'aria senza convezione termica

In questo caso, con spessori limitati entro i 2 cm, si ha solo conduzione termica attraverso l'aria nell'intercapedine e pertanto, sempre con riferimento ad un collegamento in parallelo, si ha:

$$1/R_i = 1/h_r + s_i/\lambda_{ai}$$

ove si ha:

R_i resistenza termica dell'intercapedine, ($\text{m}^2\text{K/W}$),

h_r coefficiente di irraggiamento fra le facce esterne dell'intercapedine, ($\text{W/m}^2\text{K}$);

s_i spessore dell'intercapedine d'aria, (m),

λ_{ai} conducibilità termica dell'aria nell'intercapedine, (W/mK).

Si osserva che il coefficiente di conducibilità dell'aria è molto basso ($\lambda = 0.024$ W/mK) e pertanto il termine conduttivo è molto piccolo.

L'uso delle intercapedini d'aria non convettive (cioè con spessori piccoli) deriva proprio dal fatto che esse introducono una elevata resistenza termica e quindi rendono più isolante la parete esterna.

Nella seguente tabella si hanno alcuni valori di R_i calcolati per varie situazioni pratiche di intercapedini d'aria.

Direzione del Flusso termico	PARAMETRI DELL'INTERCAPEDINE				Resistenza termica Totale R_{Ti} (m ² K/W)			
	Orientamento	Spessore (cm)	Temp. Media (°C)	Diff. Temp. (°C)	$1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1 = 1/F_{12}$			
					0.05	0.2	0.5	0.82
Verso L'alto	Orizzontale	2÷10	10	5	0.429	0.322	0.215	0.158
			10	15	0.326	0.275	0.185	0.142
			30	5	0.429	0.303	0.191	0.136
Verso l'alto	Inclinata a 45°	2÷10	10	5	0.503	0.358	0.232	0.167
			10	15	0.365	0.282	0.197	0.149
			30	5	0.501	0.339	0.204	0.142
Verso destra	Verticale	2÷10	10	5	0.627	0.417	0.253	0.178
			10	15	0.464	0.339	0.223	0.162
			30	5	0.604	0.382	0.219	0.152
Verso sinistra	Inclinata a 45°	2÷10	10	5	0.733	0.464	0.271	0.186
			10	15	0.597	0.408	0.249	0.176
			30	5	0.705	0.417	0.239	0.157
Verso il basso	Orizzontale	2	10	10	0.627	0.417	0.253	0.179
		4	10		0.963	0.567	0.303	0.202
		10	10		1.616	0.705	0.339	0.217
		2	30		0.567	0.365	0.215	0.149
		4	30		0.877	0.475	0.249	0.164
		10	30		1.341	0.589	0.275	0.173

4.2.3 Effetto serra

Una superficie vetrata a contatto con la radiazione solare diretta, crea un innalzamento della temperatura all'interno, comportandosi come una trappola di calore. La spiegazione di questo fenomeno sta nell'andamento della curva del coefficiente di trasmissione del vetro, che somiglia ad una U rovesciata.

Il vetro, con gli spessori che ha nella pratica, trasmette il 90% della radiazione nel campo visibile e risulta praticamente opaco (non trasparente) alla radiazione nella regione infrarossa dello spettro elettromagnetico (circa $\lambda > 3\mu\text{m}$). Poiché, a temperatura ambiente, tutta la radiazione emessa dalle superfici cade nella regione infrarossa, si verifica che il vetro permette alla radiazione solare di entrare e impedisce alla radiazione infrarossa di uscire, causando quindi, un aumento della temperatura interna legato all'aumento di energia contenuta accumulata all'interno dell'ambiente. Questo fenomeno di riscaldamento, dovuto alle caratteristiche del vetro (o di plastiche trasparenti), è noto come effetto serra, perché viene sfruttato

soprattutto nelle serre. L'effetto serra è definito perciò come la capacità del vetro di trattenere calore.

I principi fondamentali su cui si basano le strategie passive per il riscaldamento solare sono sostanzialmente legati all'utilizzo dell'irraggiamento solare, all'accumulo e all'immagazzinamento del calore e alla sua distribuzione. L'irraggiamento solare può essere sfruttato, in genere, in due modi diversi: attraverso l'accumulo diretto di calore o attraverso quello indiretto. L'impiego di superfici vetrate esposte all'irraggiamento solare è un fattore chiave per lo sfruttamento della radiazione termica solare.

Per quanto riguarda le tecniche di accumulo passivo, le tecnologie che offrono le maggiori potenzialità dal punto di vista prestazionale e di adattabilità relativamente all'integrazione architettonica, sono l'introduzione di serre solari¹¹ oppure l'applicazione dei TIM (Transparent Insulation Materials)¹².

La disciplina normativa regionale ha recentemente rivisto le specifiche disposizioni riferite alle serre solari: tali strutture generalmente, vengono agevolate con riduzione degli oneri accessori oppure non conteggiando il volume occupato.

Le serre e le strutture di forma analoga per spazi vetrati chiusi, componenti formali del fabbricato, nell'ambito degli edifici a uso residenziale, contribuiscono all'illuminazione naturale e possono concorrere al risparmio energetico. Queste, pertanto, si configurano come elementi importanti per una progettazione coerente con i criteri della sostenibilità. Nonostante ciò, risulta ancora assente una disciplina omogenea di livello nazionale.

I Regolamenti edilizi comunali, infatti, considerano le serre solari come volumi tecnici, escludendole come tali dal computo della superficie o del volume. In quanto

¹¹ Per serre solari si intendono gli spazi ottenuti mediante l'impiego di chiusure vetrate trasparenti di logge o terrazze, quando detti spazi chiusi siano unicamente finalizzati al risparmio energetico e siano conformi alle specifiche prescrizioni per esse dettate dalla normativa locale.

¹² *“Le serre possono essere costruite esternamente all'edificio, creando un volume aggiunto, oppure all'interno del perimetro, ad esempio ricavate su balconi già esistenti: la serra si configura perciò come un'ottima opportunità nella riqualificazione di edifici esistenti, costituendo un sistema flessibile a guadagno diretto o indiretto (una sorta di intercapedine vetrata di grandi dimensioni) e isolato (utilizzando i moti convettivi dell'aria calda). A seconda delle diverse caratteristiche dell'edificio da riqualificare si aggiungeranno masse di accumulo (nel caso in cui le pareti perimetrali dell'edificio non siano abbastanza massicce per poter funzionare come accumulatori) e aperture per l'innescare dei fenomeni di convezione naturale. L'utilizzo di materiali isolanti trasparenti (TIM) offre buone potenzialità dal punto di vista della riqualificazione energetica ed architettonica dell'involucro di facciata, riassumendo in sé il concetto sia di conservazione che di guadagno energetico. Come materiale isolante, infatti, migliora le prestazioni conservative dell'involucro mentre come materiale trasparente ne migliora le caratteristiche legate all'accumulo della radiazione solare. I TIM possono essere utilizzati sia in sovrapposizione ad elementi di parete opaca che in corrispondenza delle bucatore, evitando così interventi di tipo “pesante” sulle strutture.”* Cammarata G., *Impianti termotecnici* – Volume I, Università degli Studi di Catania, Catania, 2009.

volumi tecnici, la loro realizzazione è solitamente possibile in ogni parte del territorio comunale, nel rispetto delle norme dei PSC.

Le serre si configurano come locali nuovi non riscaldati o comunque locali in cui non vi è presenza continuativa di persone e con orientamento principale rivolto a sud.

La struttura di chiusura delle serre deve essere completamente trasparente, fatto salvo l'ingombro della struttura di supporto; inoltre deve essere apribile ed ombreggiabile per evitare il surriscaldamento estivo.

4.2.4 Effetto camino

L'effetto camino è quel fenomeno che comunemente si manifesta nel caso di condotti verticali che collegano un focolaio di combustione con l'atmosfera, al fine di consentire l'allontanamento dei fumi. La fig. 4.25 rappresenta lo schema di un camino che pone in comunicazione la camera di combustione con l'atmosfera, ad un'altezza H rispetto alla mezzeria della bocca di ingresso.

Riportando la questioni in ambito architettonico, il camino si può definire come un sistema aperto, delimitato dalle sezioni S_1 ed S_2 uguali; inoltre, poiché la tendenza dell'aria a salire lungo il camino per tiraggio naturale è tanto più forte quanto più è elevato il valore della sua temperatura, quindi l'isolamento termico delle pareti, in prima approssimazione ma non necessariamente, si può ipotizzare che l'aria percorra il camino a temperatura T_f costante: poiché le variazioni di pressione sono in genere molto modeste, si può quindi considerare la densità del fluido costante.

Introducendo le ulteriori ipotesi semplificative di considerare il camino a sezione costante, come assai spesso avviene, ed assumendo la resistenza dell'aria come costante R , la velocità media assume lo stesso valore in qualsiasi punto del percorso verticale ed è esprimibile in funzione della portata in volume dei fumi Q_f e della sezione A del camino, mentre le densità interna ed esterna sono inversamente proporzionali ai valori di temperatura rispettivamente T_f e T_e : conoscendo questi parametri è possibile progettare l'altezza di un camino, o la sua sezione se l'altezza è determinata da altre esigenze, in funzione della portata dell'aria a sua volta determinata dai valori assunti dalla temperatura dell'aria di intercapedine e da quella esterna. Tale relazione fornisce la spiegazione ad esempio, del fatto che, quando un'intercapedine è dimensionata al limite, nelle mezze stagioni comincia a funzionare bene solo quando l'intercapedine stessa si è adeguatamente scaldata.

Il problema si complica notevolmente se si desidera tenere conto del fatto che l'aria, salendo lungo il camino, si raffredda in quanto avviene cessione di calore attraverso la parete del camino stesso; il problema si risolve, almeno formalmente, suddividendo il camino in tanti tratti verticali, per ciascuno di quali deve essere



Figura 4.25 Rappresentazione schematica di un camino a sezione costante.

impostata e risolta un'equazione basata sul bilancio energetico del sistema aperto, introducendo perciò sistemi di compartimentazione dell'aria o involucri a singoli elementi. Altro elemento che contribuisce all'effetto camino è il riscaldamento dell'aria di intercapedine dovuta all'effetto serra.

4.2.5 Ventilazione naturale

Per valutare come i fattori esterni, fissi e variabili, influiscono sulla ventilazione dell'intercapedine è necessario descrivere come tale fenomeno si sviluppa. In termini generali, si può affermare che la ventilazione viene innescata da una differenza di pressione tra le masse di aria situate tra le due pelli; tale differenza può essere prodotta da diverse cause che agiscono singolarmente o congiuntamente a seconda delle condizioni ambientali esterne:

- differenze di pressione generate da effetti termici prodotti nell'intercapedine, l'effetto termico a cui si fa riferimento è il risultato del riscaldamento dell'aria situata nell'intercapedine. La temperatura dell'aria contenuta tra le due pelli è influenzata da una serie di fattori che sono originati da fenomeni termici legati al trasferimento e alla produzione del calore. In specifico, le temperature dell'aria in prossimità dell'involucro (esterno e interno) e il contributo di energia fornito dall'irraggiamento solare costituiscono gli elementi variabili dai quali dipende la temperatura dell'aria di intercapedine. Il calore dell'aria esterna e dell'aria dei vani interni viene trasferito per conduzione e convezione alle superfici delle due pelli e quindi all'aria di intercapedine. In assenza di irraggiamento, nella condizione in cui l'intercapedine è direttamente collegata con l'esterno o con l'interno (a seconda della direzione di ventilazione predisposta) l'aria in essa contenuta si attesta in un valore di temperatura simile a quello dell'ambito a cui è collegata (esterno o interno). Nel caso di intercapedine chiusa verso entrambi gli ambiti, la temperatura raggiunge un valore intermedio tra i due. Il parametro esterno che, invece, agisce sulla creazione di un effetto termico che movimenta in modo deciso le masse d'aria presenti nell'intercapedine è definito dall'irraggiamento solare. Attraverso questo fenomeno naturale la temperatura dell'aria d'intercapedine, stabilita dai fenomeni sopra descritti, incrementa sensibilmente. Tale incremento è causato, in parte, da una componente di calore ceduta per conduzione e convezione dalla lastra esterna riscaldata direttamente dai raggi solari e, per le soluzioni con una pelle esterna trasparente, dall'effetto serra prodotto nell'intercapedine dalla radiazione luminosa. Il riscaldamento dell'aria di

intercapedine provoca un incremento di pressione rispetto all'esterno. Tale fenomeno è dovuto al principio fisico secondo il quale l'aria, salendo di temperatura e divenendo più leggera, aumenta il proprio volume, dirigendosi verso l'alto. Essendo questa aria contenuta in uno spazio delimitato si produce, nella parte alta dell'intercapedine, un innalzamento della pressione. Per ristabilire l'equilibrio naturale l'aria viene quindi espulsa verso l'esterno attraverso le griglie posizionate nella porzione superiore dell'intercapedine; di contro, nella porzione inferiore, si crea una depressione che viene annullata dall'ingresso di aria più fredda attraverso le griglie posizionate in basso. Questo continuo movimento di aria definisce il principio generale di ventilazione dell'intercapedine, prodotto durante le ore della giornata in cui la facciata è direttamente esposta ai raggi solari;

- differenze di pressione dovute alla forza del vento, il vento può essere considerato come una forza che esercita una pressione direttamente sull'involucro. La differenza di pressione tra l'aria dell'intercapedine e l'esterno dell'edificio, sottoposto all'azione del vento, genera un moto convettivo che provoca la ventilazione dell'involucro; tale moto, durante la giornata, si aggiunge a quello causato dagli effetti termici, incrementando o riducendo la portata di aria che attraversa le due facciate vetrate (in funzione del valore positivo o negativo della pressione del vento);
- differenze di pressione ottenute tramite l'ingresso di aria proveniente da vani specifici, il naturale movimento verso l'alto dell'aria di intercapedine, causato dagli effetti precedentemente descritti, può essere incrementato utilizzando particolari accorgimenti atti a convogliare, nello spazio tra le due pelli, aria proveniente da vani specifici dell'edificio innescando un effetto tampone. Generalmente, si tratta di vani interrati¹³ o seminterrati che contengono aria la cui temperatura risulta mitigata, rispetto all'esterno, dalla specifica posizione planivolumetrica che li caratterizza. Nella condizione estiva tale aria presenta temperature inferiori rispetto a quelle esterne; se

¹³ La realizzazione di involucri a comportamento dinamico comporta assai di frequente l'adozione di soluzioni a strati paralleli con interposta aria, ferma od in movimento. La ventilazione dell'intercapedine può avvenire, come noto, per singoli elementi, per canali verticali od orizzontali o a tutta superficie. La realizzazione di condotti di ventilazione a canali può risultare assai utile al fine di porre in essere interessanti sinergie tra diverse componenti del sistema edilizio. A titolo esemplificativo attraverso i canali orizzontali è possibile mettere in comunicazione porzioni di involucro fresche con porzioni calde, omogeneizzandone la temperatura, mentre attraverso i canali verticali è possibile condurre aria fresca (proveniente dal solaio a terra) nell'intercapedine surriscaldata dal sole, abbassandone significativamente la temperatura, oppure mettere in comunicazione lo stesso solaio a terra (fresco) con la copertura (calda), innescando un tiraggio naturale anche in quelle zone (ad esempio a nord) che non si avvantaggiano dell'effetto camino generato dal sole.

introdotta nell'intercapedine essa induce ad un incremento della ventilazione di quest'ultima e un conseguente raffrescamento dell'intero involucro. Nella condizione invernale, invece, l'aria presenta temperature superiori rispetto a quelle esterne; ciò permette di incrementare la temperatura dell'aria di intercapedine, migliorando complessivamente il grado di isolamento dell'involucro;

- differenze di pressione ottenute per mezzo di elementi meccanici, la ventilazione naturale dell'intercapedine può essere incrementata attraverso l'applicazione di ventilatori che, collocati in prossimità delle griglie superiori, aumentano la pressione dell'aria in uscita dall'intercapedine. Con questa tecnologia si definisce un sistema di involucro cosiddetto a "ventilazione forzata". Tramite l'impiego di sistemi meccanici viene assicurata un'adeguata ventilazione dell'involucro anche nelle condizioni in cui i parametri esterni e la conformazione geometrica dell'intercapedine non risultano appropriati a movimentare il calore recuperato.

Volendo schematizzare i singoli componenti stagionali della ventilazione è possibile suddividerli in:

- invernali;
- estivi;
- intermedi.

In condizione *invernale*, cioè con le griglie chiuse, viene favorito il potere termoisolante dell'involucro, attraverso il cuscinetto d'aria a circolazione minima che si forma tra le due superfici che compongono l'involucro, riscaldate dalla radiazione solare: il calore accumulato viene ceduto agli ambienti attraverso la parete più interna, contribuendo ad aumentarne la temperatura superficiale ed il conseguente livello di comfort dell'aria. Inoltre, nei sistemi più complessi, il calore accumulato dalla facciata nei periodi invernali può essere trasferito direttamente agli impianti di riscaldamento, contribuendo alla riduzione del consumo energetico.

Nelle *stagioni intermedie*, principalmente negli edifici per uffici, gli utenti possono far entrare negli ambienti interni l'aria riscaldata nel cavedio aprendo gli infissi della facciata interna, contribuendo all'innalzamento della temperatura dei locali attraverso l'apporto solare.

La condizione di funzionamento *estivo* prevede l'apertura delle griglie di ventilazione della pelle esterna: moti convettivi generati dalla differenza di temperatura e di pressione tra l'interno e l'esterno dell'involucro determinano una ventilazione ascensionale passante che raffresca la pelle interna dell'edificio. E' necessario evitare, attraverso l'utilizzo di opportuni dispositivi, che gli effetti contrastanti delle

forze indotte dal vento e dai fenomeni termici possano bloccare il flusso circolatorio nell'intercapedine, inoltre vanno analizzate le possibili resistenze conseguenti alla forma delle aperture e alla loro costruzione, come la presenza di profili direzionali in lamiera o griglie di protezione dagli insetti. L'aria nell'intercapedine si muove verso l'alto per moto convettivo naturale, generato dalla differenza di pressione, oppure per la prevalenza fornita da impianti meccanici di ventilazione forzata. Questo effetto risulta maggiormente pronunciato più i componenti di facciata (strutture portanti, vetri, sistema oscurante), naturalmente riscaldati dall'irraggiamento solare, sono caldi e più elevata è la velocità del vento. Inoltre, maggiore è la circolazione dell'aria, più elevata risulta la quantità di calore evacuata dalle superfici componenti la camera di contenimento dell'aria (la doppia partizione perimetrale ed il sistema oscurante). In sostanza l'effetto di protezione solare è accresciuto dall'intensità dell'irraggiamento stesso. La ventilazione naturale è, quindi, più efficiente durante la stagione estiva, poiché asporta la notevole energia calorica accumulata dalle superfici esposte all'irraggiamento solare e, comunque, è più intensa sulle parti dell'edificio più fortemente irradiate, ovvero esposte a sud, sud/est, sud/ovest.

L'ottenimento di una sensibile riduzione del consumo energetico per la climatizzazione invernale ed estiva e l'ottenimento di un buon comfort interno sono determinati da un lato dalle scelte progettuali, dall'altro dalla pianificazione di idonee strategie per quanto riguarda le funzioni della facciata quali:

- attivazione delle schermature solari e loro orientamento;
- apertura e chiusura degli elementi apribili per l'ottimizzazione dell'effetto ventilante;
- possibilità di apertura degli infissi interni per il raffrescamento notturno;
- attivazione degli impianti di climatizzazione quando necessario.

Queste funzioni possono essere delegate agli utenti dei singoli locali, normalmente in parte, o automatizzate attraverso una serie di componenti che vanno dai sensori alle motorizzazioni a scomparsa, agli attuatori, ai sistemi di cablaggio. Tali sistemi, anche se il funzionamento ottimale è quello garantito dalla logica programmata, permettono ad ogni singolo utente la possibilità di sconnettersi attraverso un interruttore dal comando centralizzato e operare secondo le proprie necessità. Inoltre offrono particolari opportunità se applicati nella ristrutturazione, in quanto permettono nella maggior parte dei casi di intervenire dall'esterno non dovendo compiere modifiche sostanziali alla facciata esistente ed al sistema impiantistico dell'edificio.

Come si è detto, la circolazione dell'aria attraverso l'intercapedine è indotta da forze propulsive ascensionali generate dai venti e da fenomeni di natura termica:

fondamentali, a questo proposito, è la pressione del vento che dipende dalla forma e dall'altezza dell'edificio e dalle caratteristiche del contesto, che, a loro volta, determinano la direzione e la velocità delle masse d'aria. La forza ascensionale di origine termica si determina per differenza di temperatura con l'esterno: decisiva, in merito, la differenza di quota tra le aperture di ingresso e di uscita dell'aria. Naturalmente è comunque indispensabile l'ausilio di sistemi di integrazione per garantire i necessari ricambi d'aria sia d'estate nelle giornate più calde sia d'inverno in quelle più fredde.

Un ulteriore parametro per la circolazione dell'aria è rappresentato dalla resistenza opposta dall'intercapedine stessa: la sua profondità minima non deve essere inferiore a 20/25 cm¹⁴ per garantire un sufficiente moto dell'aria, anche se il funzionamento ottimale del sistema avviene con intercapedini di 40-50 cm¹⁵, praticabili anche ai fini manutentivi. Intercapedini superiori ai 60 cm sono giustificabili solo in caso di inserimento di elementi funzionali (corridoi di passaggio, impianti, scale).

4.2.6 Isolamento termico

In Italia il concetto di isolamento termico è sempre stato molto carente: i paesi con clima simile hanno, fino ad oggi, avuto standard d'isolamento termico di gran lunga superiori. In Italia si è assistito invece ad un aumento dei consumi energetici dal 1990 al 2002 del 5,6%. A tale ragione si devono le restrittive misure in termini di standard previste dalle normative nazionali per il recepimento della Direttiva Europea 2002/91/CE, *Energy Performance of Building* (EPBD).

Generalmente quasi nessun edificio costruito nel secondo dopoguerra rispetta gli standard d'isolamento previsti dalle nuove normative. Per pareti in mattoni forati o pannelli in calcestruzzo leggero prefabbricato, il coefficiente di trasmittanza termica (valore U) varia tra 0,6 e 1,5 W/m²K. Gli infissi sono generalmente a vetro singolo e i parapetti al di sotto delle finestre rappresentano una delle principali fonti di dispersione termica.

La tendenza generale è quella di utilizzare materiali con basse proprietà emissive per ridurre le perdite di calore radiante e pellicole ad elevato potere riflettente così come i rivestimenti superficiali per riflettere le radiazioni termiche: queste misure possono incrementare la temperatura della superficie interna di una parete esterna,

¹⁴ Cinti, S., *Facciate a doppia pelle in Italia Verifica di applicabilità dei sistemi vetro-vetro*, tesi di Dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura, Università degli Studi di Ferrara Facoltà di Architettura, Istituto IUAV Facoltà di Architettura, Ferrara, 2004; Brunoro, S., *Efficienza energetica delle facciate*, Maggioli, Rimini, 2006.

¹⁵ ibidem.

oltre a ridurre le perdite di calore per trasmissione. Mentre gli involucri opachi con strati termoisolanti di spessore compreso tra i 12 e i 16 cm hanno valori U inferiori a $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, nel caso di pareti trasparenti, valori simili possono essere raggiunti solo adottando misure temporanee termoisolanti. Altra soluzione è legata all'impiego dell'energia solare, fattore decisivo nel definire il bilancio energetico di una facciata. Anche la trasparenza alle radiazioni di un materiale termoisolante influenza le possibilità d'uso diretto dell'energia solare, per esempio nel preriscaldamento dell'aria d'alimentazione oppure per riscaldare la massa di una parete esterna piena. In termini di dinamicità i sistemi termoisolanti sono classificati in base ai loro requisiti di flessibilità: i sistemi fissi, ad es. i sistemi termoisolanti combinati, non consentono all'involucro di possedere capacità isolanti variabili in funzione delle fluttuazioni stagionali e giornaliere della temperatura e delle radiazioni esterne, elemento che può diventare problematico quando sono utilizzati componenti isolanti traslucidi o trasparenti dovendo limitare il rischio di surriscaldamento estivo. Nei sistemi mobili, con ante scorrevoli o pieghevoli, il materiale o elemento isolante è collocato all'interno o all'esterno della struttura esistente: possono, dunque, essere impiegati elementi trasparenti o traslucidi, in inverno, utilizzando il calore per preriscaldare l'aria nell'intercapedine di facciata, mentre, durante l'estate, l'aria calda è estratta grazie alle aperture della facciata, tramite la ventilazione precedentemente descritta; i sistemi d'isolamento opachi invece non hanno il vantaggio di sfruttare le fonti solari.

4.2.7 Ombreggiamento e protezione solare

La collocazione di sistemi di schermatura solare ha un influsso determinante sul consumo energetico degli edifici, indipendentemente dal coefficiente d'isolamento termico di una facciata trasparente. In edifici con involucri tradizionali esposti ad est o ovest, le verifiche svolte hanno dimostrato che il consumo di energia per il raffreddamento può essere dimezzato quando sono impiegati sistemi schermanti, rispetto ad una facciata di vetro senza elementi di protezione solare.

Come già descritto nel capitolo terzo, l'effetto di protezione solare delle schermature installate sull'involucro rappresenta il fattore di diminuzione¹⁶ e indica la percentuale

¹⁶ Altro parametro significativo è il fattore di ombreggiamento F_s che rappresenta la riduzione della radiazione solare incidente dovuta all'ombreggiamento sull'elemento vetrato e viene calcolato per definire l'efficacia di schermature di tipo fisso, come l'orografia del terreno, edifici o vegetazione presente sul sito, elementi facenti parte della struttura dell'edificio in esame (per esempio gli oggetti verticali o orizzontali). Questo fattore ha valori compresi tra 0 e 1 e può essere determinato per ciascun mese dell'anno, secondo le indicazioni della norma Uni/Ts 11300-1, come prodotto dei coefficienti di ombreggiamento relativi alle ostruzioni esterne, agli oggetti verticali e a quelli orizzontali, desunti, in funzione della latitudine, l'orientamento e l'angolo di vista, dalle tabelle riportate nella norma stessa.

di energia radiante incidente che passa attraverso un elemento schermante: tale valore dipende dall'angolo di inclinazione solare rispetto a quello della schermatura e produce informazioni relative al guadagno energetico in un ambiente dipendente dall'incidenza dei raggi solari.

Durante i periodi caldi dell'anno, diversi sono i fattori che concorrono a creare condizioni ambientali non confortevoli, tra i quali la temperatura esterna, la radiazione solare e i guadagni interni dovuti alle persone ed alle apparecchiature utilizzate negli edifici. Un sistema di schermatura consente un significativo controllo degli apporti termici dovuti alla radiazione solare incidente sia su una superficie opaca che su una trasparente.

Nei climi più caldi, quando le pareti opache non hanno isolamento termico, i sistemi di ombreggiamento possono essere concepiti per la totalità delle pareti verticali, opache e trasparenti per formare un involucro evoluto a comportamento dinamico di tipo traslucido su opaco o traslucido su trasparente. In climi temperati o freddi, i sistemi di ombreggiamento sono generalmente legati alle aperture e alle superfici vetrate.

Gli esempi di controllo del soleggiamento attraverso sistemi di ombreggiatura non mancano: tali soluzioni offrono a volte buoni compromessi tra il recupero degli apporti solari nel periodo di riscaldamento e la protezione solare nella stagione calda. In climi temperati, la captazione dell'irraggiamento solare è generalmente privilegiata, per ridurre i bisogni di riscaldamento in inverno, sempre evitando situazioni che potrebbero causare surriscaldamento.

Ma i sistemi di ombreggiamento influenzano considerevolmente l'ambiente luminoso all'interno di un edificio. Le esigenze in materia di benessere igrotermico, luminoso e di risparmio energetico, possono rivelarsi contraddittorie, il che complica l'analisi e la progettazione di questi dispositivi e obbliga a preferire un loro impiego congiunto.

Le tipologie di sistemi di protezione solare

L'impiego di schermature interne può ridurre il consumo energetico del 20% essendo in grado di dissipare all'esterno parte della radiazione solare assorbita migliorando il grado di comfort interno sia nei mesi invernali che estivi: il tipo, la dimensione e il posizionamento di un sistema di schermatura dipendono dal tipo di radiazione solare diretta, diffusa o riflessa da schermare. Gli elementi di schermatura solare sono indispensabili in tutte le tipologie edilizie per prevenire il surriscaldamento, specialmente in edifici che richiedono un alto carico di energia per il raffrescamento interno oppure in edifici per uffici con un'alta percentuale di superfici vetrate. Si possono dividere in :

- sistemi fissi, più frequenti, non permettono la regolazione degli elementi di ombreggiamento in funzione della posizione del sole, e dunque possono provocare disagi funzionali correlati alla schermatura, alla trasparenza e allo sfruttamento della luce diurna;
- sistemi mobili, meno economici, al contrario, consentono di adeguarsi agli spostamenti del sole durante il giorno e nel corso dell'anno, e permettono un controllo puntuale degli elementi di schermatura e di ombreggiamento oltre a garantire il massimo rendimento della luce diurna (fig. 4.26).

Gli elementi di questa tipologia possono essere posti tra due differenti superfici vetrate presentando però alcuni svantaggi quali ad esempio la trasmissione della radiazione solare all'interno dell'ambiente.

Numerosi sono però anche i vantaggi. I sistemi collocati dietro ad una lastra di vetro, e quindi più protetti da sporco e inquinamento, facilitano montaggio ed installazione permettendo l'utilizzo di elementi sensibili con superfici di riflessione in grado di guidare la luce diurna. Questo vale anche per gli involucri trasparente su trasparente dove è possibile l'installazione di più manipolatori dietro una lastra protettiva di vetro. Con elementi installati nell'intercapedine del vetro camera, la pulizia e la manutenzione comportano un dispendio ancora inferiore mentre il periodo di funzionamento risulta maggiore, vedasi per esempio i sistemi microreticolari e a prisma. Nonostante i vantaggi offerti dai sistemi di schermatura solare protetti dagli agenti atmosferici, l'opzione più vantaggiosa rimane quella degli elementi di schermatura solare esterni per l'emissione termica diretta estiva. Tuttavia, nella scelta dei componenti, rimane importante considerare le condizioni climatiche e la resistenza al vento, poiché, con elevati carichi di vento, il sistema può subire danni temporanei di diversa portata.

I sistemi in grado di fornire protezione solare possono essere progettati in maniera integrata all'edificio, senza la predisposizione di elementi progettati ad hoc.

Un esempio significativo di ricerca nell'ambito della protezione solare, ma anche come soluzione formale architettonica, è rappresentata, dal recupero della Dansk Sojakage Fabrik, fabbrica di soia dismessa nel 1992, che con i suoi tre silos domina l'orizzonte dell'imbarcadero d'Islanda, a Copenaghen. Dei tre, il più suggestivo è appunto il Frosilos (silos per i cereali): due cilindri distanti tra di loro 1,60 m, in calcestruzzo armato, di 25 m di diametro e 40 m di altezza vuoti senza copertura.

Su progetto dello studio olandese MVRDV e dello studio danese W Arkitekter, questi silos sono stati riconvertiti in 841 loft (da 90 a 200 m²) con un forte segno architettonico.



Figura 4.26 Sistema di protezione solare mobile.

Le vetrate degli alloggi sono a tutta altezza, garantendo la completa permeabilità interno-esterno. Esse sono realizzate con serramenti in alluminio a taglio termico e vetro camera con trattamento per il controllo solare. In tal modo le abitazioni possono godere completamente della vista panoramica e usufruire dell'irraggiamento invernale, mentre le balconate schermano la radiazione diretta del sole estivo.

4.2.8 Inerzia termica

Il termine inerzia termica definisce il comportamento degli edifici in un contesto di regime termico variabile, cioè quando gli scambi di calore sono variabili. Questa variabilità è determinata dalle fluttuazioni:

- della temperatura esterna (nel corso della giornata);
- della temperatura interna (apertura o chiusura delle finestre);
- della temperatura di regime interna;
- degli apporti interni (fonti di calore o luce quali apparecchiature elettriche);
- dall'irraggiamento (variazione giorno-notte e posizione del sole, periodi di nuvolosità passeggera).

Per semplicità si possono considerare le oscillazioni diurne nell'arco di uno stato medio più o meno stazionario (dato che esistono anche variazioni da giorno a giorno). L'inerzia termica descrive la reazione alle oscillazioni dello scambio di calore della temperatura media diurna dell'interno dell'edificio:

- più l'inerzia termica è forte, più l'interno resterà vicino allo stato stazionario determinato da questa media;
- più l'inerzia termica è debole, più l'interno varierà con le variazioni degli scambi.

L'inerzia termica dipende dai materiali impiegati e dalla stratificazione dell'involucro: i rivestimenti deboli in PVC o i pavimenti in piastrelle praticamente non impediscono questo contatto, perché non hanno capacità termica. Al contrario un muro spesso con elevata densità impedisce il flusso tra l'ambiente interno e i muri o i solai.

Esistono due tipi di inerzia:

- *l'inerzia per trasmissione*, che descrive in quale misura una parete dell'involucro diminuisce l'ampiezza di una oscillazione della temperatura esterna e il ritardo di fase nella trasmissione verso l'interno¹⁷;

¹⁷ "Queste inerzia dipende principalmente dal valore di diffusività (λ/Cp) del materiale della parete e dal suo spessore, sapendo che λ : conduttività termica (in $W/m^{\circ}C$); Cp : calore specifico (in $J/kg^{\circ}C$); p : densità (in kg/m^3).

La maggior parte dei materiali da costruzione ha valori di diffusività che variano da circa 4 a $8 \cdot 10^{-7} m^2/s$. Il legno e i suoi derivati hanno una diffusività di circa $2 \cdot 10^{-7} m^2/s$. Gli isolanti correnti hanno una diffusività da 2 a $4 \cdot 10^{-6} m^2/s$.

- *l'inerzia per assorbimento* che descrive la temperatura della faccia di una parete interna, in contatto con l'aria del locale, reagente a una oscillazione di scambio di calore interno¹⁸.

Dato che una gran parte degli scambi di calore interessa l'interno di un edificio attraverso le aperture o le bocche di ventilazione e non le chiusure opache, è importante distinguere tra inerzia per trasmissione e inerzia per assorbimento

In generale, l'inerzia per assorbimento permette di ridurre il surriscaldamento in estate ed evitare o diminuire i bisogni di raffrescamento e di beneficiare degli apporti solari in inverno, soprattutto in caso di continua presenza di utenti nell'edificio, quali ad esempio quelli a destinazione d'uso specialistica ospedaliera o scolastica.

Effetti dell'inerzia

Alcuni requisiti appaiono difficilmente conciliabili:

- requisiti di risparmio energetico e requisiti di comfort estivo, per gli edifici a utilizzo intermittente;
- requisiti legati ad alcune soluzioni acustiche e requisiti di comfort estivo.

Requisiti contraddittori

Per esempio, la correzione acustica che miri alla diminuzione del tempo di riverbero aumenta le superfici assorbenti acusticamente attraverso materiali leggeri che diminuiscono l'inerzia di assorbimento. L'isolamento dai rumori aerei o dai rumori di impatto si effettua spesso attraverso pannelli isolanti o resilienti disposti nelle murature perimetrali del locale, che diminuiscono in uguale modo anche l'inerzia di assorbimento.

L'inerzia di trasmissione aumenta con lo spessore e diminuisce con la diffusività della parete. Le pareti opache di spessore superiore a 100 mm possono essere considerate come inerti dal punto di vista della trasmissione dell'oscillazione diurna. Una situazione interessante si ottiene con uno spessore di circa 300 mm, in modo che la trasmissione attenuata dall'oscillazione esterna sia ritardata all'incirca di dodici ore e i picchi del flusso di mezzogiorno compaiano all'interno soltanto a mezzanotte". Faragò, F., Manuale pratico di edilizia sostenibile, Esselibri – Simone, Napoli 2008

¹⁸ "Più una parete è inerte, più l'oscillazione della temperatura di questa faccia è debole e più la capacità di assorbimento di scambio energetico della parete è grande. Questa inerzia dipende dal valore dell'effusività della parete $(\lambda \cdot Cp \cdot p)^{1/2}$ del materiale e dallo spessore di parete disponibile in rapporto agli spazi intorno; in questo modo un solaio che separa due locali non viene contato in ogni locale se non per il suo mezzo spessore. L'effusività è dello stesso ordine di grandezza per la maggior parte dei materiali da costruzione in muratura, $2.000 \text{ J/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{1/2}$; per il legno e i suoi derivati, circa $400 \text{ J/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{1/2}$; per gli isolanti termici, $40 \text{ J/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{1/2}$.

L'inerzia per assorbimento aumenta con lo spessore e con l'effusività della parete. Così le pareti inerti, dal punto di vista dell'assorbimento, sono quelle in calcestruzzo e muratura pesante con uno spessore superiore a 50 mm. Esse raggiungono il massimo della loro efficacia nell'attenuazione dell'effetto di una oscillazione diurna con uno spessore disponibile dell'ordine di 100 mm". Faragò, F., Manuale pratico di edilizia sostenibile, Esselibri – Simone, Napoli 2008.

4.2.9 Controllo della condensa interstiziale

Come descritto nel paragrafo 4.2.5, numerose sono le funzioni della camera di ventilazione: è però possibile che in presenza di un clima freddo questo fenomeno causa la formazione di condensa nella parte posteriore del rivestimento; in presenza di un clima caldo il movimento dell'aria raffredda gli strati interni della costruzione determinando un notevole risparmio energetico.

La condensazione del vapore contenuto nell'aria può avvenire sia sulla superficie interna della parete provocando danneggiamenti degli strati superficiali di finitura con formazione di depositi di polvere sia all'interno della parete stessa, degradando le caratteristiche di isolamento dei materiali interessati. Nel caso non sia possibile evitare la formazione del vapore d'acqua, occorre verificare che la quantità di condensa all'interno di una parete durante l'inverno sia contenuta entro limiti tali da non compromettere la resistenza termica minima prevista per la parete e che in ogni caso possa essere interamente evaporata durante la stagione estiva¹⁹.

Dalla figura 4.27 appare chiaro il vantaggio dell'utilizzo di un isolante posizionato sull'esterno della parete ai fini della eliminazione/riduzione dei fenomeni di condensa.

Il vapore d'acqua presente nell'aria produce una pressione, che solitamente viene definita come

$$P_v \approx W$$

Dove P_v è la pressione del vapore d'acqua e W è la quantità di vapore contenuta in m^3 d'aria.

L'eccedenza del vapore presente all'interno di un ambiente in rapporto all'esterno crea un gradiente di pressione di vapore all'interno (alta pressione) verso l'esterno (bassa pressione). Questo gradiente fa migrare il vapore verso l'esterno attraverso le pareti dell'involucro.

Ogni materiale da costruzione ha una propria permeabilità al vapore; la quantità di vapore che attraversa una parete omogenea dipende principalmente dal gradiente di pressione, dalla permeabilità del materiale della parete e dallo spessore.

4.2.10 Controllo del rumore

L'applicazione di una facciata supplementare ad un semplice involucro costituisce, in termini generali, un efficace accorgimento costruttivo per migliorare l'isolamento acustico complessivo di una chiusura esterna. Secondo questo principio, la seconda

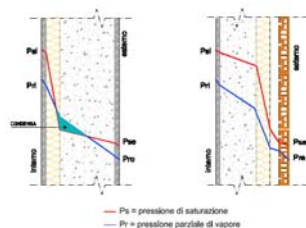


Figura 4.27 Schema del comportamento del vapor d'acqua all'interno di una parete.

¹⁹ La verifica di progetto può essere effettuata utilizzando il modello matematico di Glaser che si basa sul confronto dell'andamento, all'interno della parete, della pressione di saturazione (funzione della temperatura interna/esterna e della trasmittanza dei materiali) e della pressione parziale di vapore (funzione della umidità interna ed esterna e della permeabilità al vapore dei vari strati).

pelle di un involucro evoluto a comportamento dinamico realizza, di fatto, una barriera acustica contro la propagazione del suono prodotto da fonti esterne verso gli ambienti interni di un edificio. Tale prestazione si esprime nella capacità della pelle esterna di riflettere parte delle onde sonore che colpiscono la superficie esterna, riducendo sensibilmente l'intensità del livello sonoro presente in corrispondenza della pelle interna. Il parametro quantitativo della misura di livello sonoro a cui fare riferimento è individuato dalla pressione sonora espressa in dB(A).

Nella definizione di una soluzione tecnologica mirata al raggiungimento di un determinato isolamento acustico, non concorrono solamente le prestazioni dei materiali utilizzati, ma anche la specifica configurazione dimensionale e organizzativa dei dispositivi e dei sistemi che compongono l'involucro.

I parametri fondamentali da acquisire, necessari a definire i vincoli di riferimento per la progettazione, sono:

- *il livello di sonoro prodotto da fonti esterne all'edificio*, che individua il fattore esterno riferibile alle caratteristiche del contesto ambientale. La presenza, ad esempio, di strade ad intenso traffico, ferrovie o attività industriali può produrre un elevato livello acustico esterno all'edificio. L'analisi del contesto prevede l'identificazione delle caratteristiche acustiche del rumore prodotto e la sua durata nel corso di un'intera giornata (fonti di tipo diurno o notturno);
- *la destinazione d'uso dell'edificio*, le attività svolte all'interno del fabbricato devono essere relazionate al livello sonoro esterno; non tutte le attività richiedono standard acustici tali da esigere, per uno specifico livello sonoro esterno, l'impiego di soluzioni tecnologiche mirate ad ottenere un elevato isolamento acustico dell'involucro. Questa considerazione deve essere estesa, all'interno di una specifica destinazione d'uso, anche alle categorie di spazi e alle unità ambientali; l'adozione di una soluzione a doppia pelle può, infatti, essere prevista solamente per specifici fronti del fabbricato, o porzioni di essi, a cui corrispondono, in elevazione, le medesime attività.

L'applicazione di un involucro evoluto a comportamento dinamico deve essere valutata analizzando complessivamente il comportamento dell'involucro stesso in relazione a tutte le possibili fonti di rumore, non solamente quelle esterne, ma anche quelle interne.

La conformazione fisica del sistema di involucro offre, infatti, prestazioni acustiche variabili in funzione dell'origine delle fonti sonore; ciò è dovuto alla presenza delle due facciate separate dall'intercapedine. L'involucro, a seconda della configurazione fisica e meccanica degli elementi che lo compongono (in particolare, a seconda della

posizione dei dispositivi di ventilazione), risulta variamente permeabile all'aria e, di conseguenza, anche al suono.

Pertanto, può accadere che una facciata, invece di offrire elevate prestazioni in relazione al controllo del rumore prodotto all'esterno, produca un effetto contrario a causa della presenza dell'intercapedine; una volta entrato nell'involucro, il suono si può infatti diffondere nella cavità tra le due facciate a causa del fenomeno della riflessione delle onde sonore sulle superfici.

La presenza di dispositivi per la ventilazione dell'intercapedine produce un'interruzione nella continuità della superficie delle chiusure esterne; nei punti in cui la facciata è intervallata da griglie aperte, le onde sonore entrano, in proporzione all'ampiezza delle aperture ventilanti, nello spazio tra le due facciate. In questi punti le onde sonore si riflettono, con un'intensità che dipende sia dalle dimensioni dell'intercapedine che dalle caratteristiche fisiche dei materiali che la delimitano. In particolare, il suono viene riflesso e assorbito nell'intercapedine secondo i principi che regolano la propagazione sonora in campo diffuso.

Le tipologie a tutta superficie e a canali possono, infatti, riverberare nell'intercapedine il suono in misura maggiore rispetto alla tipologia a singoli elementi, disturbando più unità ambientali o, addirittura, più unità immobiliari collocate su livelli differenti.

Questo negativo effetto dell'involucro evoluto a comportamento dinamico non si limita al rumore prodotto da fonti esterne, ma si estende anche a quello prodotto da fonti sonore presenti all'interno dell'edificio; quando le aperture poste sulla pelle interna sono aperte il suono generato nelle unità ambientali che affacciano sull'intercapedine può propagarsi all'interno della cavità tra le due facciate permettendo, ad esempio, di udire le voci di utenti che si trovano fisicamente in vani lontani tra loro; tale negativo effetto acustico non è rilevabile in un involucro di tipo tradizionale.

In generale, si può affermare che l'intercapedine costituisce un mezzo di propagazione del suono, sia esso prodotto all'esterno che all'interno dell'edificio; il livello di permeabilità delle due pelli verso l'intercapedine influenza, quindi, con il grado di isolamento acustico.

Esclusa la tipologia di facciata a singoli elementi con direzione di ventilazione interna, dove il vano e l'intercapedine risultano fisicamente isolati rispetto all'esterno e agli altri vani che affacciano sull'involucro, le altre configurazioni di involucro possono presentare le problematiche di ordine acustico precedentemente evidenziate; per queste ultime si deve agire sulle caratteristiche fisiche della facciata

interna, utilizzando chiusure dotate di adeguati accorgimenti tecnici (vetri stratificati, lastre montate in soluzione isolante, dispositivi di ventilazione chiudibili, ecc.).

Qualunque siano le direzioni di ventilazione, le tipologie o le famiglie di involucro adottate, l'impiego di una pelle isolante per la facciata interna risulta essere la scelta tecnologica più corretta. Se la pelle interna viene dotata di una soluzione con infissi apribili si ottiene una soluzione di sicuro controllo del rumore prodotto da fonti esterne, anche se la pelle esterna è dotata di dispositivi per la ventilazione sempre aperti.

4.3 Termofisica dell'involucro: calcolo stazionario e calcolo dinamico

Molto spesso ci si riferisce ad un comportamento termico degli edifici molto semplificato e facile da analizzare, supponendo cioè che l'edificio sia in regime stazionario. Si tratta di un'ipotesi molto semplificativa ma che risulta utile e indispensabile nella prassi progettuale. Le condizioni di stazionarietà sono rare e limitate a pochi casi pratici, nella realtà l'evoluzione termica degli edifici è sempre non stazionaria e ciò comporta notevoli difficoltà di calcolo.

Per edifici termo statizzati²⁰, la temperatura interna viene artificialmente mantenuta al valore desiderato, ad esempio 20°C in inverno e 26°C in estate, per le condizioni di comfort termico. Le condizioni esterne, però, non sono mai costanti poiché sia la temperatura esterna (e l'umidità relativa nel caso di climatizzazione completa) che l'intensità di radiazione solare, come precedentemente descritto, variano continuamente durante la giornata. Pertanto immaginare che i carichi termici (dispersioni o guadagni termici, a seconda della stagione) siano costanti prevede una considerevole approssimazione.

Anche secondo indicazioni di decreti e leggi, spesso ci si riferisce all'ipotesi che i carichi termici si mantengano costanti e che l'edificio sia in condizioni stazionarie. Affidarsi pedissequamente all'ipotesi di regime stazionario può portare ad errori notevoli nella valutazione della reale evoluzione termica degli edifici con conseguenze gravi per i progettisti: ad esempio, il carico termico invernale indicato dalla L. 10/91 come *carico di picco* è un carico fittizio che dovrebbe fornire il carico termico massimo nelle peggiori condizioni (assenza di contributi gratuiti, cioè di

²⁰ Cioè in edifici nei quali un impianto contribuisce a mantenere la temperatura interna degli ambiente costante mediante opportuni scambi di calore con i terminali (ad esempio radiatori o fan coil).

energia solare e di sorgenti interne, e la stazionarietà della temperatura esterna al valore minimo di progetto).

In definitiva nel calcolo del carico di picco non si tiene conto della radiazione solare (si suppone che nelle giornate invernali ci sia cielo coperto e quindi assenza di radiazioni solari dirette) degli apporti gratuiti interni (lampade, sorgenti interne, persone) e che all'esterno la temperatura sia poco variabile (anche per l'assenza della radiazione solare) e pari al valore minimo di progetto. Tutte queste ipotesi sono irrealistiche poiché vi è sempre radiazione solare diffusa, variazione della temperatura esterna e presenza di sorgenti interne (affollamento, lampade).

Un'osservazione importante va fatta sulle modalità di calcolo dei carichi termici in regime stazionario: il flusso termico trasmesso fra due fluidi separati da una parete composita in regime stazionario è data dalla trasmittanza termica, dalla superficie e dalla differenza di temperatura.

La trasmittanza K è in funzione dei coefficienti h_i ed h_e , coefficienti di convezione interna ed esterna e della resistenza termica degli strati di materiale compresi fra i due fluidi ($\sum s/\lambda_i$). Questa relazione fondamentale per l'impiantistica termotecnica vale solo in regime stazionario. In regimi tempo variabili occorre tenere conto degli accumuli termici nei vari strati (introducendo parametri relativi alla capacità e quindi all'inerzia termica) e il flusso termico trasmesso fra i due fluidi sarebbe ben più complesso da calcolare.

La comodità di utilizzare relazioni semplificate come quelle appena descritte è importante ai fini dell'economia dei calcoli da effettuare per il calcolo dei carichi termici tanto che molto spesso si preferisce commettere errori (sia pur sotto controllo) che utilizzare equazioni differenziali complesse e codici di calcolo altrettanto complessi ed ostici. È questo uno dei motivi pratici per cui si ipotizza il regime stazionario.

Di seguito si tenterà di analizzare i transitori termici in regime non stazionario: i calcoli da effettuare per analizzarli risultano effettivamente lunghi, complessi e, in molte occasioni, privi di informazioni se non opportunamente interpretati da professionisti esperti e preparati.

Per lungo tempo le normative nazionali hanno sempre fatto riferimento a calcoli fittizi in regime stazionario, ma con l'introduzione del D. Lgs. 192/05 si stanno verificando importanti cambiamenti. Per la prima volta, infatti, si parla di surriscaldamento estivo e di valutazione della sua entità con opportuni codici di calcolo.

Transitorio termico degli edifici

L'applicazione della L.10/91 (vedi paragrafo 1.2.3) è ormai routine progettuale mentre lo studio più approfondito dell'evoluzione temporale delle condizioni

microclimatiche di un edificio richiede nozioni più avanzate e conoscenza di modellistica raffinate, essendo l'edificio, e a maggior ragione l'involucro, un sistema certamente complesso.

Il progettista che intende controllare le conseguenze di una scelta progettuale dal punto di vista energetico dispone oggi di innumerevoli strumenti, dai più sofisticati che richiedono l'uso di grandi computer, e capaci di un grande rigore e dettaglio, ai più semplici che consentono previsioni veloci.

Da qui il primo problema che si deve affrontare: tali strumenti, infatti, sebbene elastici e versatili, risentono comunque della impostazione originaria di valutazione di prestazioni legate a specifiche tipologie edilizie o di particolari soluzioni progettuali; si tratta allora di individuare quale tra gli strumenti disponibili sia il più adatto e a che livello di dettaglio sia opportuno giungere nella raccolta delle informazioni sulla *performance* del sistema.

Esiste tuttavia un secondo problema e forse più oneroso del primo in quanto presenta spesso aspetti contrastanti: riguarda il momento ovvero la fase della progettazione nella quale eseguire il controllo. Accade infatti che il controllo risulta tanto più efficace quanto più ci si sposta verso la fase iniziale del progetto, quando cioè le decisioni non sono state consolidate e molte possibilità sono ancora aperte. La progettazione bioclimatica postula, ad esempio, uno spostamento dei controlli dalle fasi finali del progetto alle fasi intermedie, nelle quali è ancora possibile modificare e correggere l'impostazione edilizia: orientamento, involucro, aperture.

*"In ogni caso, una volta assegnati alcuni parametri (che spesso sono vincolanti quali l'area climatica, la posizione rispetto al sole, la destinazione dell'edificio), ciò che qualifica la prestazione termica dell'edificio è in massima parte il comportamento dell'involucro. E' questo che rappresenta l'elemento di separazione e di interazione tra il macroclima esterno e il microclima interno e come tale va progettato in modo che la sua risposta sia congruente con i requisiti di benessere termico e richieda il minimo ricorso possibile a sistemi ausiliari di climatizzazione (Energy Conscious Design)"*²¹.

Un caso molto importante per le applicazioni pratiche si ha quando si applica una temperatura variabile in modo periodico ad uno strato piano seminfinito. È questo il caso, ad esempio, della variazione della temperatura ambientale esterna agli edifici. Le pareti esterne, infatti, si possono considerare strati di spessore tale da ritenere valide le ipotesi di spessore seminfinito. Un'onda termica, che può essere assimilata

Propagazione del calore in regime periodico stabilizzato

²¹ Cammarata G., *Impianti termotecnici* – Volume I, Università degli Studi di Catania, Catania, 2009.

alla variazione periodica sinusoidale (tra il giorno e la notte), porta alla trasmissione all'interno degli edifici con velocità data e con sfasamento dato.

Anche l'ampiezza dell'onda subisce l'attenuazione: pertanto le pareti di grande spessore e con materiali non conduttori attenuano e sfasano molto (come avviene nelle antiche abitazioni con mura spesse o nelle chiese con mura spesso oltre gli 80 cm).

Viceversa una parete da materiali conduttori e aventi poca massa (come sono le pareti in calcestruzzo o le pareti di materiale leggero) porta ad attenuazioni e sfasamenti modesti: le variazioni termiche esterne si trasmettono in breve tempo (entro 0,5÷2 ore) all'interno degli ambienti, diversamente dalle pareti spesse e pesanti che ritardano di alcune ore la trasmissione dell'onda termica. Le difficoltà analitiche sopraggiungono quando si considera il caso reale di un mezzo non omogeneo e di spessore finito quale può essere un involucro reale multistrato (fig. 4.28).

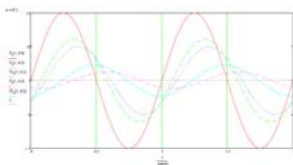


Figura 4.28 Onde di temperatura all'interno della parete per i due casi.

La risposta del mezzo alla sollecitazione esterna dipende infatti, oltre che dai comuni parametri termofisici e geometrici (conducibilità, spessori, coefficienti di convezione) anche dalla particolare stratigrafia della parete, cioè dall'ordine con cui i vari strati di materiale si susseguono rispetto alla direzione del flusso termico. Una parete con materiali di uguale spessore ma disposti in ordine diverso dà luogo ad un diverso comportamento in transitorio. Inoltre è verificato che, se la temperatura esterna si abbassa, l'onda di temperatura viene trasmessa all'interno con lo sfasamento di alcune ore (da 3 a 6 e anche più nei casi precedenti). Di conseguenza se la temperatura esterna torna a salire entro le 3-4 ore successive all'interno degli ambienti non si percepisce nessun cambiamento. Proprio per questo la temperatura minima di progetto non è la minima assoluta rilevata in un sito ma quella che si è mantenuta per almeno cinque giorni consecutivi in modo da interessare anche gli ambienti interni degli edifici. La muratura esterna, quindi, ripara gli ambienti interni dai transitori nei quali si hanno forti abbassamenti o forti innalzamenti delle temperature esterne.

Si supponga, per il momento, di avere il corpo a resistenza termica interna trascurabile²² a temperatura iniziale T_i e che questo si trovi in un ambiente con aria a temperatura costante (ambiente di grande capacità termica) T_a . Se un corpo ha resistenza termica interna trascurabile (quindi è un ottimo conduttore di calore, ossia ha λ elevato, come, ad esempio nei metalli) allora la temperatura interna del corpo

²² Se la resistenza interna di un corpo fosse nulla allora la temperatura sarebbe uniforme. L'ipotesi di resistenza trascurabile è necessaria per potere assegnare un solo valore di temperatura, con poco errore, a tutto il corpo. Ciò è vero se la conducibilità termica è elevata e se lo spessore è piccolo ($R = s/\lambda$).

varia molto poco e si può assumere che essa si mantenga uniforme (la medesima T in qualunque punto) in tutto il corpo stesso.

Quest'ipotesi facilita molto i calcoli perché nell'equazione di bilancio energetico non vi è più il contributo della variazione spaziale ma resta solo quello temporale che può essere determinato facilmente prevedendo che il fabbisogno in uscita meno quello in entrata sia uguale all'accumulo (con il corpo che si raffredda se $T_0 > T_a$). È possibile perciò determinare la costante di tempo ($T_c = RC$), come il prodotto della resistenza termica per la capacità termica. Pertanto il tempo di raffreddamento e/o di riscaldamento del corpo dipende dal prodotto RC : una maggiore massa e quindi una maggiore capacità termica comporta un maggior tempo di raffreddamento o di riscaldamento, a parità di resistenza termica.

Maggiore è la sua capacità termica maggiore sarà il tempo di riscaldamento e/o di raffreddamento e quindi minore saranno le oscillazioni termiche.

Caratteristiche termiche dinamiche delle strutture

Ai fini dello studio del transitorio termico e per la valutazione delle caratteristiche termiche dinamiche si utilizzano i metodi indicati dalla norme UNI-EN 832:2001 "Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento" e UNI-EN 13786:2001 "Caratteristiche termiche dinamiche – Metodi di calcolo". In condizioni transitorie i concetti usuali di resistenza termica stazionaria, di ammettenza termica stazionaria e di capacità termica stazionaria debbono essere rivisti poiché, come più volte si è detto, non sono più validi essendo riferiti alle condizioni stazionarie.

È intuibile, anche alla luce di quanto indicato in precedenza sul comportamento in regime periodico stabilizzato, che una parete e gli strati che la compongono introducono uno smorzamento dell'onda termica incidente alle varie profondità di penetrazione ed uno sfasamento. In definitiva si ha un comportamento capacitivo, derivante dalla capacità termica degli strati, che di fatto produce un ritardo dell'onda termica all'interno degli strati.

Considerazioni come queste sono alla base del funzionamento dinamico degli involucri evoluti: ed è proprio su queste considerazioni che si fondano le soluzioni tecnologiche e i modelli applicativi di seguito esposti.

5

Capitolo 5 – Tendenze in atto

5.1 Repertorio di casi studio

5.1.1 Formulazione di una struttura per la schedatura dei casi studio

5.1.2 Motivazioni relative alla scelta dei casi studio selezionato

5.2 Casi studio schedati

5.2.1 Casi studio internazionali

5.2.2 Casi studio europei

5.2.3 Casi studio nazionali

5.3 Individuazione delle tendenze in atto nella realizzazione di involucri e voluti a comportamento dinamico: materiali, elementi costruttivi e tecniche impiegate

5.3.1 Evoluzione dei componenti per sistemi trasparenti

5.3.2 Evoluzione dei componenti per sistemi traslucidi

5.3.3 Evoluzione dei componenti per sistemi opachi

5.1 Repertorio di casi studio

5.1.1 Formulazione di una struttura per la schedatura dei casi

studio

La scheda studio viene predisposta per valutare le caratteristiche degli edifici esistenti che prevedono l'uso di tecnologie di involucri evoluti.

Attraverso l'analisi di casi realizzati risulta possibile indagare tutti gli aspetti e i caratteri individuati nell'elaborazione dello schema per l'analisi esigenziale – prestazionale delle soluzioni di involucro, puntando l'attenzione su quegli aspetti utili poi alla successiva fase relativa alla valutazione.

Si indica, di seguito, una griglia di riferimento per l'analisi di casi studio.

<i>Titolo del progetto</i>	Simbologia	Simbologia	Simbologia	Simbologia
<i>Architetto progettista</i>	per la	per la	per la	per la
<i>Città, Paese</i>	localizzazione	tipologia di	destinazione	tipologia
<i>Anno di costruzione</i>		intervento	d'uso	edilizia

IMMAGINI DEL PROGETTO

In entrambi i riquadri che seguono sono riportate le informazioni relative alla committenza, agli altri professionisti coinvolti nella progettazione e	nell'esecuzione dei lavori, a ditte, ad aziende produttrici e ad altri esperti nel settore, oltre che alla superficie dell'intervento.
--	--

Descrizione sintetica dell'intervento

Si propone una schematica analisi del contesto di riferimento relativo all'edificio realizzato; tale analisi viene effettuata delimitando l'ambito di osservazione entro il comprensorio regionale per delineare un quadro rigoroso delle condizioni al contorno, che hanno influenzato la progettazione e che possono influenzare la gestione generale dell'edificio e dell'involucro.

Questa sezione inoltre intende ripercorrere, dove possibile, l'iter progettuale seguito dal progettista che ha portato alla definizione architettonica e tecnologica della soluzione in oggetto. La valutazione in fase progettuale rileva anche quali istanze, politiche ed economiche, sono state contemplate e quali hanno influito nella determinazione della soluzione adottata.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

Questa fase definisce sotto il profilo tecnologico e funzionale l'involucro evoluto a comportamento dinamico.

A) Definizione della tipologia di involucro L'involucro viene descritto in riferimento alla famiglia a cui appartiene, specificando, dove possibile, i fattori interni ed esterni e i fenomeni fisici correlati e innescati nel funzionamento dinamico.	Simbologia della famiglia di involucro
B) Analisi dei materiali utilizzati In questa fase si entra maggiormente nel dettaglio tecnologico, fornendo informazioni su ciascuna delle due pelli, sui materiali che le compongono e sulle case produttrici gli stessi materiali. Si forniscono, dove possibile, anche riferimenti bibliografici e/o sitografici dei prodotti descritti.	Immagine di dettaglio
C) Analisi dei sistemi di protezione solare	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO

Disegno del dettaglio tecnologico dell'involucro, possibilmente sezione cielo – terra.

Fonte : origine delle informazioni contenute nelle schede.

Attraverso questa indagine, oltre ad ottenere dei risultati che possono realmente permettere una valutazione critica dei sistemi analizzati, è possibile effettuare considerazioni trasversali, comparando le diverse esperienze. Questa operazione pone in evidenza fattori costanti e variabili, vincoli e possibilità che portano a sostanziali diverse proposte progettuali.

Legenda:



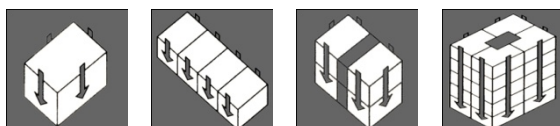
Localizzazione: internazionale, europea e italiana



Tipologia di intervento: nuova costruzione o ristrutturazione



Destinazione d'uso: residenziale, terziario o specialistico



Tipologia edilizia: edificio isolato, edificio a schiera, edificio in linea o edificio a torre.



Famiglia di involucro: trasparente su trasparente, trasparente su opaco, opaco su opaco, traslucido su trasparente o traslucido su opaco

5.1.2 Motivazioni relative alla scelta dei casi studio selezionati

L'analisi dei progetti realizzati, sia in ambito europeo che internazionale, ha preso in esame numerosi casi studio: di seguito se ne riporta una selezione relativa a quelli più significativi.

Già nella formulazione del programma di ricerca, si era ipotizzato che la percentuale di casistica di applicazioni di soluzioni di involucro evoluto a comportamento dinamico fosse piuttosto limitata in Italia: la raccolta dati ha confermato tale ipotesi.

La scelta della casistica selezionata, inoltre, è stata condotta anche su base temporale: sono stati schedati i progetti relativi all'ultimo decennio. La motivazione di tale scelta risiede in diverse motivazioni:

- la presente ricerca sugli involucri evoluti pone le basi su ricerche pregresse che avevano già affrontato fasi di schedatura e raccolta di progetti di eccellenza;
- l'evoluzione del concetto di involucro evoluto a comportamento dinamico, come già più volte accennato, ha subito negli ultimi anni forti accelerazioni e cambiamenti, sia per quanto riguarda l'approccio alla progettazione sia per l'esecutività dei progetti stessi.

Infine si è ritenuto importante valutare anche la rappresentatività dei progetti scelti in merito alle famiglie di involucro, alla tipologia edilizia e di intervento e ai materiali specificatamente usati, cercando di avere un corpo di schede studio rappresentativo per ciascuno degli aspetti suddetti.

Si riporta di seguito l'elenco dei progetti schedati, ordinati per localizzazione e in successione alfabetica per titolo del progetto.

Casi studio internazionali

<i>Caltrans District 7 Headquarters</i> Morphosis,	Los Angeles, USA,	2002 - 2004
<i>Ching Fu Group Headquarters</i> Rogers Stirk Harbour	Kaohsiung, Taiwan,	2005 - 2007
<i>Council house</i> Designinc,	Melbourne, Australia,	2006
<i>Gardiner Museum</i> KPMB Architects,	Toronto, Canada,	2006
<i>One Omotesando</i> Kengo Kuma & Associates,	Tokyo, Giappone,	2001 - 2003
<i>Salt Point House,</i> Thomas Phifer and Partners,	New York, USA,	2006
<i>Solar Decathlon</i> TU Darmstadt,	Washington, USA,	2007
<i>Wall House</i> FAR Frohn&Rojas,	Santiago, Cile,	2007

Casi studio europei

<i>Acquario fluviale</i> Promontorio Architects	Mora, Portogallo	2006
<i>Black Treefrog</i> Splitterwerk	Styria, Austria	2004
<i>Call center</i> Equip Arquitectura Pich-Aguilera	Toledo, Spagna	2005
<i>Casa unifamiliare</i> Buergher Katsota Architects	Vienna, Austria	2007 - 2008
<i>Casa unifamiliare</i> Luca Lancini	Madrid, Spagna	2004 - 2005
<i>Centro Marittimo Vellamo</i> Architects Lahdelma & M.	Kotka, Finlandia	2008
<i>Centrum Bavaria Bohemia</i> Brückner & Brückner	Schönsee, Germania	2004 - 2006

<i>Cube Hotel</i>	Baumschlager Eberle	Biberwier, Austria	2006 - 2007
<i>Edificio della Dogana</i>	Massimo Marazzi e Elio Ostinelli	Chiasso, Svizzera	2002 - 2005
<i>Edificio residenziale</i>	Rafael Moneo	Sabadell, Spagna	2003 - 2005
<i>Fundación Metrópoli</i>	Angel De Diego Rica	Madrid, Spagna	2002 - 2003
<i>Gneiss Moss</i>	Georg W. Reinberg	Salisburgo, Austria	2000
<i>Icon House</i>	Paillard + Jumeau	Montreui, Francia	2001 - 2002
<i>Istituto scolastico</i>	MGM Morales Giles Mariscal	Galisteo, Spagna	2006
<i>John Lewis Centre</i>	Foreign Office Architects	Leicester, Inghilterra	2005 - 2008
<i>Kraanspoor</i>	Oth	Amsterdam, Olanda	2006 - 2007
<i>Kunstmuseum Stuttgart</i>	Hascher, Jehle und Assoziierte	Stoccarda, Germania	1999 - 2004
<i>Médiathèque André Malraux</i>	Jean-Marc Ibos e Myrto Vitart	Strasbourg, Francia	2006 - 2008
<i>Ørestad College</i>	3XN	Copenhagen, Danimarca	2007
<i>Pau Claris</i>	Arquitectura Pich-Aguilera	Barcellona, Spagna	2003
<i>Sede amministrativa WWF</i>	Rau Architects	Zeist, Olanda	2003 - 2006
<i>Stadtlagerhaus</i>	Jan Störmer & Partners	Amburgo, Germania	1998 - 2001
<i>Stazione di pompaggio</i>	Kaspar Kraemer Architekten	Colonia, Germania	2005 - 2008
<i>Tribunale Civile</i>	Denton Corker Marshall	Manchester, Inghilterra	2004 - 2007
<i>Uffici amministrativi</i>	Barkow Leibinger Architekten	Ditzingen, Germania	2001 - 2003




Casi studio nazionali

<i>Casa unifamiliare</i>			
Archea Associati	Bergamo, Italia	2000	
<i>Centro polifunzionale Dal Negro</i>			
Tiziano Bonato	Treviso, Italia	2003 – 2005	
<i>Complesso residenziale Rosenbach</i>			
Klaus Plattner, Baubüro	Bolzano, Italia	2002 - 2003	
<i>Edificio residenziale</i>			
Marco Camplani	Bergamo, Italia	2005	
<i>Edificio unifamiliare</i>			
Arturo Montanelli – Studio Ardea	Desio, Italia	2001 – 2004	
<i>Frener & Reifer Headquarters</i>			
BRT Architekten	Bressanone, Italia	2005 - 2008	
<i>Nuova biblioteca comunale</i>			
Archea Associati	Nembro, Italia	2005 – 2007	
<i>Porta Palazzo – Exhibition Hall</i>			
Massimiliano e Doriana Fuksas	Torino, Italia	2006	

5.2 Casi studio schedati

Vengono di seguito presentate, in ordine alfabetico secondo il nome del progetto, le schede studio relative ai progetti riportati nell'elenco di cui al paragrafo 5.1.2

5.2.1 Casi studio internazionali

Caltrans District 7 Headquarters Morphosis Los Angeles, USA 2002 – 2004				
--	---	--	---	---



Committente: State of California, Department of General Services Progettista architettonico: Pavel Getov	Ingegnere strutturista: John A. Martin Asso. Progettazione termotecnica: KMI Associates
---	--

Descrizione sintetica dell'intervento

Il complesso architettonico che ospita la sede del "Dipartimento dei trasporti della California" a Los Angeles coniuga in modo articolato un volume su quattro piani a un corpo edilizio che si sovrappone parzialmente e si sviluppa in forma di parallelepipedo su tredici piani.

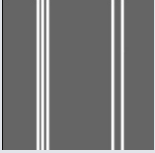




Uno spazio urbano, una piazza di vasta fruibilità e funzionalità introduce all'architettura dinamica del complesso, proponendo elementi di copertura a pensilina. A livello della piazza pubblica si concentrano gli spazi per le attività dedicate alla cultura e al tempo libero, quali la zona espositiva, le aree ristoro, le aree commerciali, mentre gli uffici trovano collocazione ai piani superiori.

Il corpo più alto del complesso presenta una facciata a doppio involucro, la cui pelle esterna, "a schermo", è formata da pannelli perforati in alluminio. Il basamento a quattro piani alterna aperture vetrate al rivestimento in lastre di fibrocemento, con tonalità analoga ai pannelli perforati. La luce solare e artificiale determina molteplici variazioni, che sono fondamento dell'idea progettuale.

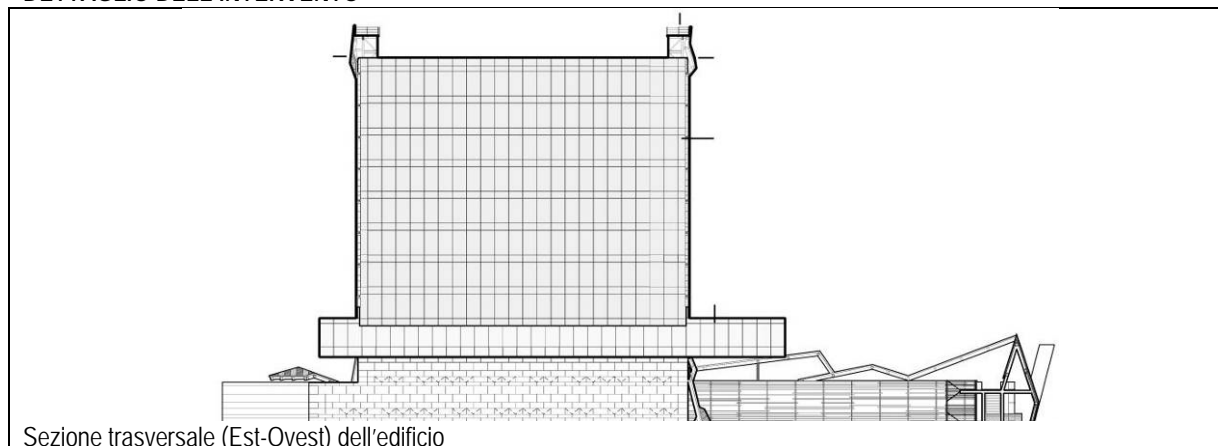
L'assetto planimetrico degli spazi adibiti ad uffici sviluppa soluzioni libere e senza subordinazione gerarchica, ponendosi l'obiettivo di incrementare l'efficienza per mezzo del comfort diffuso degli ambienti. La disposizione delle postazioni di lavoro si basa sulla correttezza dell'esposizione alla luce lasciando, comunque, autonomia ai singoli dipendenti nel disporre la propria zona di lavoro secondo criteri personalizzati. E' possibile infatti gestire l'entrata di luce ed dell'aria tramite le aperture manuali degli elementi di facciata.

Un altro elemento importante della distribuzione interna riguarda il sistema "skip stop" per i collegamenti verticali, che opera sul criterio innovativo che consiste nel fermare gli ascensori ogni tre piani per incentivare all'uso delle scale.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro La Facciata Ovest, prospiciente la piazza, muta seguendo l'irraggiamento solare, aprendo e chiudendo i pannelli in funzione dell'intensità luminosa e dell'apporto di calore. L'edificio, nelle ore del giorno a maggior incidenza di luce, assume un aspetto chiuso, opaco, quasi fosse privo di aperture. All'attenuarsi della luminosità, il processo si inverte e l'involucro si trasforma e raggiunge, al crepuscolo, la massima trasparenza. La visione notturna si arricchisce con la luminosità della "facciata artistica", con i suoi neon che si alternano tra il colore rosso e il blu e con la "struttura luminosa" trasversale, che caratterizza il prospetto nord prospiciente ad uno degli assi principali della città. La Facciata Sud invece è formata da pannelli fotovoltaici, la cui preziosa energia coadiuva il dispendio globale del complesso per circa il 5%.</p>	 <p>Traslucido su trasparente</p>
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati <u>Facciata Ovest</u> La pelle interna è costituita da un sistema di facciata a controllo solare <i>PPG Solarban 60</i> composta da una lastra vetrata spessore 25,4 mm basso-emissiva. La pelle esterna invece è costituita da pannelli in alluminio perforati con trattamento superficiale colore argento <i>Duranar Sunstorm</i>.</p>	 
<p><u>Facciata Sud</u> La pelle interna è costituita, come per la Facciata Ovest, da un sistema a controllo solare <i>PPG Solarban 60</i> composta da una lastra vetrata spessore 25,4 mm basso-emissiva. La pelle esterna è costituita da pannelli con celle fotovoltaiche montati su una struttura costituita da un profilo angolare continuo in acciaio zincato imbullonato al profilo a "T". Tale sistema è ancorato alla struttura della pelle esterna tramite profili anch'essi a "T" in acciaio zincato, saldati tra i due profili angolari verticali.</p>	 
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare Nelle facciate Ovest e Sud, la pelle esterna funge anche come elemento schermante di protezione solare.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.morphosis.com, Pagliari, F., "Sede del Dipartimento dei Trasporti Caltrans District 7 Headquarters", *The Plan*, 016, settembre-ottobre-novembre 2006, pp. 34-53

Ching Fu Group Headquarters
 Rogers Stirk Harbour + Partners
 Kaohsiung, Taiwan
 2005 – 2007



NC



Committente: Ching Fu shipbuilding Co. Ltd.
 WeeLee Intern. Co. Ltd.
 WeeLee Intern. Tourism Manag. Co.

Co-progettista: HOYA Architectos & Asso.
Ingegnere strutturista: Supertech Consultants Intern.
Progettazione facciate: Bright Curtain Metal Co.

Descrizione sintetica dell'intervento

Il Ching Fu Group Headquarters si trova vicino alla baia di Kaohsiung ed è separato dal mare solo da una zona pubblica. Tale posizione privilegiata offre all'edificio numerose viste-mare, attraverso il porto e il suo asse nord/sud. Inoltre, dal punto di vista urbanistico è collocato all'interno di un nuovo parco scientifico e commerciale, attualmente in fase di sviluppo, in prossimità di un centro espositivo.

Il progetto si caratterizza con una serie di moduli ripetuti di 8.5mx 8.5m, nove per la lunghezza dell'edificio, tre per la larghezza. Il piano terra e il primo includono l'atrio, nonché un'area per mostre e un auditorium che ospita circa 100 persone.

Secondo quanto previsto dai regolamenti in materia di sicurezza per gli edifici alti, gli ultimi tre piani (dall'ottavo al decimo) sono direttamente collegati alla facciata. E' stato così possibile ottenere una grande terrazza all'ottavo piano, utilizzata dal personale come spazio ricreativo. Questo spazio è ombreggiato da lamelle che sono integrate nella copertura.

Un ponte di osservazione - per uso del personale e dei visitatori - è previsto lungo il lato sud della costruzione, al di sopra della protezione a lamelle. Questo ponte è servito da impianti di risalita e da una scala a chiocciola.

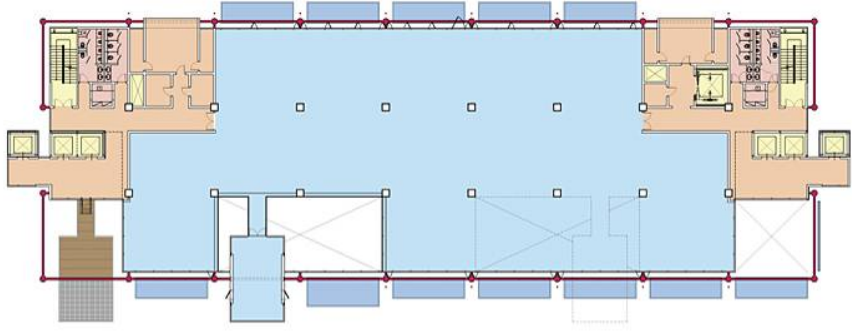
Un altro piccolo ponte di osservazione - per uso esclusivo del personale - è stato inserito sul lato settentrionale dell'edificio.

Una peculiarità del progetto è rappresentata dai cosiddetti "box", estensioni dello spazio degli uffici a diversi livelli, che sembrano galleggiare al di là delle facciate e che sono destinati a sale riunioni e ad aree gabinetto. La copertura di ciascun box è delimitata da un parapetto, che consente la creazione di balconi esterni.



ANALISI DELLA TECNOLOGIA

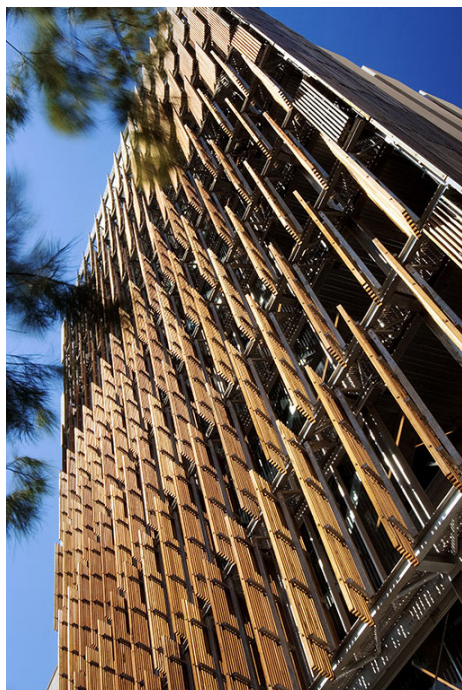
<p>A) Definizione della tipologia di involucro L'edificio è costituito da una doppia pelle in vetro e lamelle frangisole metalliche, appartiene perciò alla famiglia di involucro traslucido su trasparente. Kaohsiung si trova lungo il Tropic del Cancro, che si caratterizza con lunghe estati calde, nonché con periodi di intensa attività monsonica. Per limitare il surriscaldamento dell'involucro edilizio, sul tetto e sulle facciate sono state posizionate delle lamelle - perpendicolari nella Facciata Sud - su tutti i piani dell'edificio. Le lamelle situate a Sud-Ovest, sulle finestre adiacenti ai <i>box</i> sono posizionate in modo tale da disegnare la luce naturale all'interno degli uffici. Sui lati Est e Ovest sono distribuiti i servizi che, dal punto di vista climatico fungono da spazi cuscinetto, pertanto non è stato necessario schermarli.</p>	 <p>Traslucido su trasparente</p>
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati <u>Facciata Sud/Nord</u> La pelle interna è costituita da un vetro autoportante. Si tratta di una particolare tecnologia che prevede l'utilizzo di elementi verticali vetrati posti perpendicolarmente alla superficie esterna e ad essi collegati tramite elementi metallici puntuali (ragnetti). Ogni singolo elemento portante in vetro è collegato a quello superiore attraverso placche metalliche connesse per bullonatura. La pelle esterna invece è costituita da una superficie di frangisole metallici grigliati, posti perpendicolarmente alla facciata. Le lamelle sono poste sia sul prospetto nord che su quello sud, per la collocazione al Tropic del Cancro. La struttura di supporto della pelle esterna è costituita da travi e pilastri in acciaio verniciato di colore rosso, alla quale sono appesi i frangisole (tramite profili metallici di dimensione più ridotta).</p>	 
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare In copertura e sulle facciate sono posti frangisole metallici coincidenti con la pelle esterna dell'edificio.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO

 <p>Pianta piano tipo</p>

Fonte: www.richardrogers.co.uk

Council House 2 (CH2) Designinc Melbourne, Australia 2006		NC		
---	---	-----------	---	---



Committente: City of Melbourne Finanza di progetto: City of Melbourne - Design and Culture Division	Superficie lorda: 12.536 m ² Superficie commerciale: 9.373 m ² (uffici) + 500 m ² (negozi piano terra)
--	--

Descrizione sintetica dell'intervento

Council House 2 (CH2) è la nuova sede degli uffici comunali della città di Melbourne. Aperto nell'agosto 2006, il progetto nasce dalla necessità di ospitare 540 impiegati del Comune precedentemente collocati in spazi in affitto. A fronte di questa occasione, la città ha deciso di puntare all'eccellenza e ha promosso la costruzione di un edificio paradigmatico per qualità dell'ambiente di lavoro ed efficienza energetica.

Questa determinazione ha dato origine ad un edificio energeticamente molto evoluto, che espone questa sua vocazione anche visivamente, con la scelta dei materiali utilizzati, con la differenziazione delle facciate in relazione alla loro specifica esposizione zenitale e con l'evidenza impiantistica per la regolazione climatica (passiva e attiva). CH2 dimostra che, se si opera nella direzione di una efficace relazione energetica tra ambiente e costruito, l'architettura deve ripensare i propri schemi e proporre soluzioni formali che superino il parallelepipedo interamente condizionato e punti su forme funzionalmente più adatte al contesto climatico nel quale sono collocate.

CH2 si trova nel centro di Melbourne, proprio di fronte al municipio esistente, e include al piano terra alcuni negozi e bar, con l'intento di portare animazione in una zona precedentemente occupata da un parcheggio. Nell'edificio sono stati realizzati solo 20 posti auto, per stimolare l'uso dei mezzi pubblici, ma ben 80 stalli per biciclette e 9 docce per gli impiegati ciclisti. Il parcheggio per le automobili, fra l'altro, è stato concepito per una futura conversione a uffici o altri usi.

Rispetto all'altro edificio per uffici utilizzato dalla città di Melbourne, CH2 riduce dell'87% le emissioni di CO₂ e i consumi di gas, dell'85% il fabbisogno di elettricità e del 72% quello di acqua potabile.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

A) Definizione della tipologia di involucro

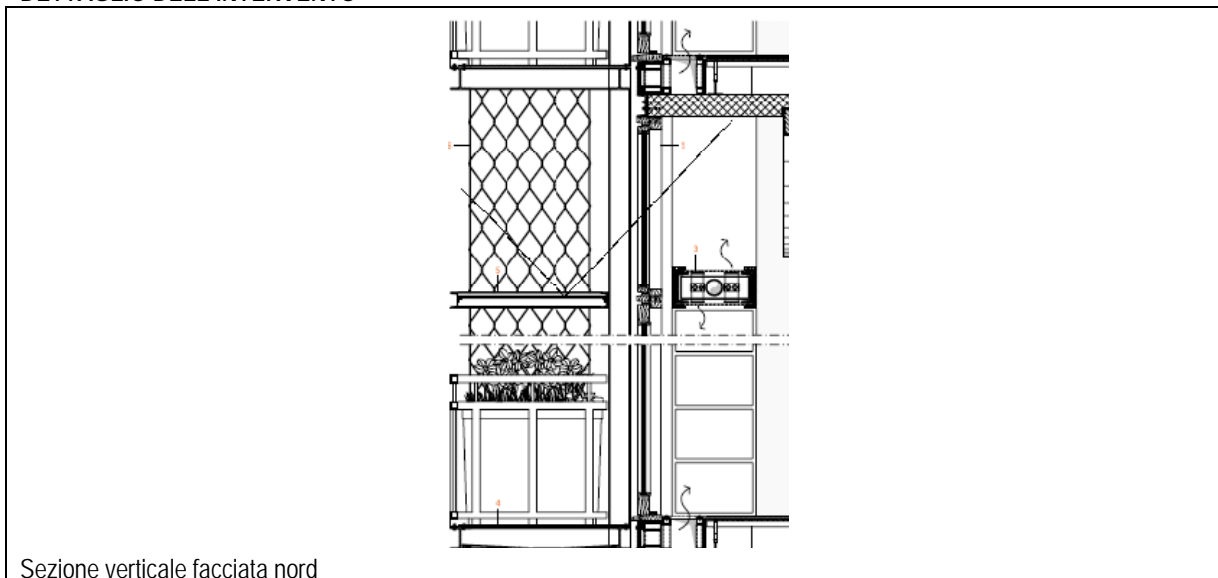
Nel clima oceanico di Melbourne, caratterizzato da inverni miti ed estati piuttosto calde, la priorità progettuale di un edificio a destinazione terziaria è quella di evitare il surriscaldamento degli ambienti - problema reso più complesso dagli elevati carichi termici interni. Così le quattro facciate di CH2 assolvono ciascuna a compiti differenti: se a ovest un sistema di persiane mobili di legno riciclato protegge gli uffici dal sole pomeridiano, a nord (dove splende il sole nell'emisfero australe) si trovano i condotti scuri per l'estrazione



Traslucido su trasparente

<p>naturale dell'aria viziata e un sistema di giardini verticali con funzione di schermatura. Il fronte sud è caratterizzato dalle prese d'aria fresca, mentre la facciata est, è avviluppata da una lamiera metallica forata per consentire la ventilazione dei bagni.</p>	
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati La pelle interna La pelle interna varia in base all'orientamento dell'edificio: – a nord, dove vi sono finestre in legno; – ad est vi è una parete leggera e finestre fisse; – ad ovest finestre in legno; – a sud (dove non batte il sole) finestre in legno.</p>	
<p>La pelle esterna a nord è dotata di riflettori orizzontali (light shelves) di lamiera microforata, per mitigare il calore estivo e per riflettere la luce sui soffitti interni, assicurando così l'illuminazione naturale quanto. A nord sono posizionati anche i condotti per l'estrazione naturale dell'aria viziata.</p>	
<p>La pelle esterna a est la facciata è rivestita da una lamiera metallica forata per consentire la ventilazione dei bagni.</p>	
<p>La pelle esterna a ovest è costituita da un sistema di persiane mobili di legno riciclato protegge gli uffici dal sole pomeridiano</p>	
<p>La pelle esterna a sud è caratterizzata dalle prese d'aria fresca utilizzata per la mitigazione del caldo estivo.</p>	
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare Le facciate dell'edificio sono state progettate per mitigare i fenomeni negativi derivanti dai fattori esterni di riferimento. A nord la schermatura è stata pensata per limitare l'irraggiamento diretto ma per non escludere l'illuminamento.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.designic.com, Masera, G., Snape, D., "Natura artificiale", *Arketipo*, 24/Giugno 2008, pp. 82-97

Gardiner Museum
 KPMB Architects
 Toronto, Canada
 2006



RE



Committente: Gardiner Museum
Collaboratori: Bruce Kuwabara, Shirley Blumberg, Paulo Rocha

Paesaggio: NAK Design
Strutture: Halsall Asso Ltd. Associates
Progettazione urbana: Suzanne Powadiuk

Descrizione sintetica dell'intervento

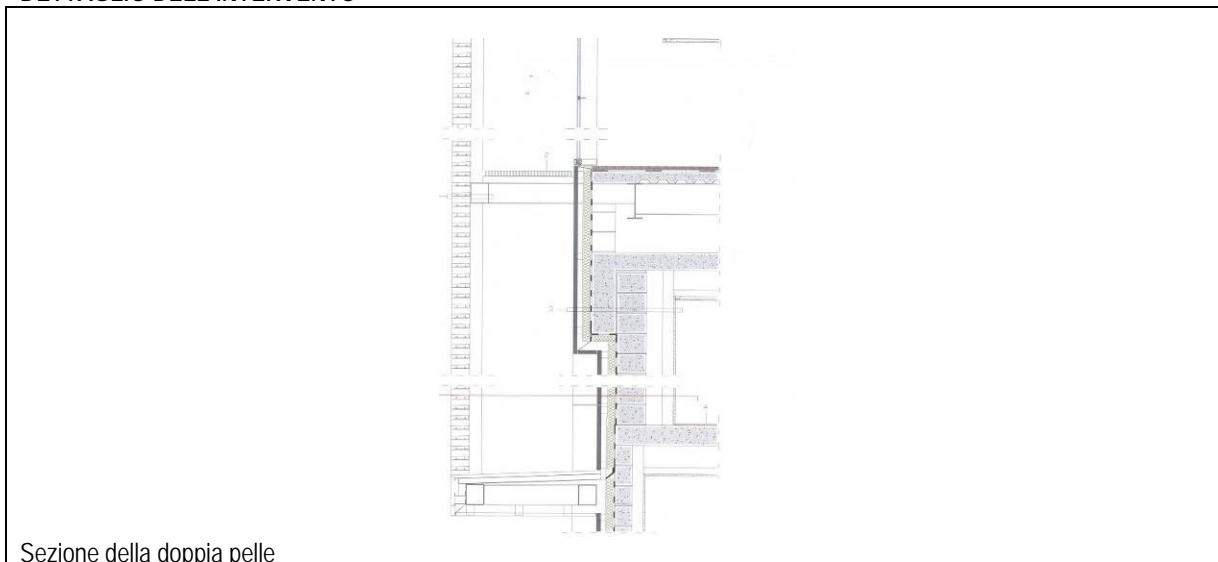
Il rinnovo e l'ampliamento del Gardiner Museum a Toronto, unico museo canadese per la ceramica, riflettono nel progetto di Bruce Kuwabara e dell'architetto Paulo Rocha dello studio KPMB una concezione di cauta sperimentazione, che trasforma l'architettura del Museo in continuità con l'edificio preesistente. Il progetto costruisce un'immagine di misurata contemporaneità, di qualità architettoniche ed espositive attraverso geometrie eleganti e raffinate, senza ricorrere all'eclat gestuale delle forme, che contraddistinguono l'ampliamento di Libeskind del 2007, per il prospiciente Royal Ontario Museum: prismi emergenti in vetro e alluminio.

Il Museo ospita le collezioni ceramiche personali di George ed Helen Gardiner e fu aperto nel 1984. L'edificio, realizzato da Keith Wagland, sviluppava sovrapposte geometrie a volumi cubici, in contrapposizione alle costruzioni universitarie adiacenti, architetture dei primi anni del Novecento. Il rinnovo del Gardiner Museum sottostà ad esigenze di espansione: nuovi spazi per la collezione e per esposizioni di livello internazionale, intensificando le attività didattiche e di ricerca. Il progetto riformula l'area di accesso, rielabora gli spazi interni e aggiunge un intero piano con la grande sala espositiva temporanea, un'area deposito, ristorante e terrazze aperte a sud. L'incremento della superficie corrisponde a circa 1600 m². Il fronte è articolato: in evidenza il volume su pilastri che aggetta sulla zona ingresso e l'intensa luminosità della vetrata arretrata a tutta parete, un segnale per l'accesso. Su piani di facciata retrostanti si susseguono pareti vetrate incorniciate da corsi di lastre di pietra. Un frangisole esterno a fitte lamelle in pietra calcarea e telaio in acciaio, presente sul fronte principale e sul lato a sud, protegge per vaste sezioni le pareti vetrate. Il rivestimento delle pareti esterne viene rinnovato, sostituendo il granito rosa con pietra calcarea color camoscio e granito nero levigato, con lastre di dimensioni differenti su ampie zone omogenee. All'interno, il progetto dilata gli spazi d'accoglienza al piano terreno, spostando la scala principale al margine nord-ovest; le sale espositive si ampliano e si configurano più aperte in nuove vetrine d'elegante disegno. Il terzo piano aggiunto, a struttura portante in acciaio, accoglie ristorante e sala polivalente a concludere il percorso: la grande sala espositiva è del tutto libera da pilastri intermedi e luminosa con pareti vetrate a tutt'altezza e soffitto trasparente.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro Il prospetto Ovest è costituito da una doppia pelle traslucida su opaco, che occupa una porzione modesta dell'intero prospetto. Si è ritenuto però riportare ugualmente tale caso studio in quanto significativo per il materiali usato per la pelle esterna: pietra. Inoltre nella parte superiore di tale porzione la pelle interna è costituita da un parte vetrata, con doppio vetro e doppia camera. Tra la parte vetrata e quella opaca, vi è una griglia metallica per la manutenzione di collegamento tra la pelle interna e quella esterna.</p>	 <p>Traslucido su opaco</p>
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati <u>Facciata Ovest</u> La pelle esterna è costituita da brise-soleil in pietra calcarea 145X40 mm con tassello di ancoraggio in alluminio saldato a profilo a L in alluminio anodizzato 126X40 mm, profilo scatolare in acciaio 203X152 mm di sostegno, profilo scatolare in acciaio 203X50 mm per la connessione alla struttura portante.</p> <p>La pelle interna è composta da lastre di rivestimento in granito nero levigato 32 mm, pannello di chiusura in cemento, isolamento 40 mm, barriera al vapore, fondazione in calcestruzzo armato 350 mm.</p>	 
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare La pelle esterna funge essa stessa come elemento di protezione dai raggi solari incidenti.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO

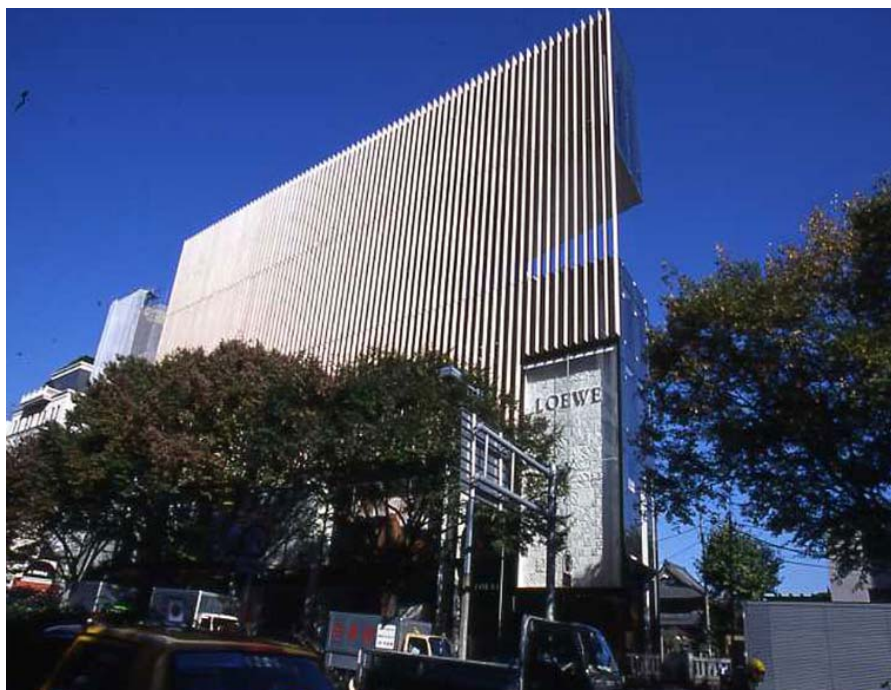
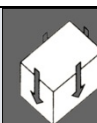


Fonte: www.kpmbarchitects.com, Pagliari, F., "Gardiner Musuem, Toronto, Canada", *The Plan*, 025 aprile 2008, pp. 68-81

One Omotesando
Kengo Kuma & Associates
Tokyo, Giappone
2001 - 2003



NC



Committente: Riso Kagafu Corporation
Progetto strutture: Dak Structural Design Office

Progetto impianti: P.T. Morimura & Associates, Ltd.
Superficie edificio: 1.007 m²

Descrizione sintetica dell'intervento

L'edificio progettato da Kengo Kuma prende curiosamente il nome dal suo numero civico. In realtà, quest'ultimo è stato attribuito secondo un tipo di numerazione occidentale, privo di senso a Tokyo, essendo, infatti, gli edifici non numerati consecutivamente, ma secondo un complicato sistema di isolati e distretti.

L'edificio, che si sviluppa con una facciata lunga 50 metri sulla via Omotesando, è concepito come un grande schermo. Alto 36 metri, è composto di nove piani, sette fuori terra e due entro terra. I primi due piani fuori terra sono destinati ad attività commerciali ed espositive, mentre i cinque piani superiori sono destinati ad uffici. Dato il valore commerciale della strada, anche i due piani entro terra sono destinati ad attività commerciali.

La volontà del progettista di ricercare una relazione con l'ambiente urbano ha determinato il tipo di facciata di One Omotesando caratterizzata da montanti verticali di legno di larice lamellare le cui proporzioni rimandano alla snellezza dei fusti degli alberi di *zelkolla*, alcuni alti più di 15 metri.

La facciata così schermata crea una quinta uniforme dietro cui i volumi dell'edificio si articolano in modo diversificato ai differenti livelli. Infatti, parte del quarto e del quinto piano sono stati eliminati per creare un'ampia terrazza con una particolare vista sulla città.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA


A) Definizione della tipologia di involucro

I montanti disposti davanti alla facciata vetrata di One Omotesando sono costituiti da legno di larice giapponese lamellare. I singoli pezzi sono alti 8,36 metri e sono disposti con un passo di 60 cm e sporgono dalla facciata di 45 cm. La loro sezione è assottigliata e assume una particolare conformazione a pinna. In senso longitudinale presentano, invece, una fenditura, creata in fase di produzione, per l'inserimento delle piastre di acciaio di ancoraggio. Queste ultime, di acciaio galvanizzato di 12 mm di spessore, sono fissate mediante unioni bullonate alla struttura di acciaio del solaio. I montanti di legno sorreggono il *curtain wall* che caratterizza il prospetto sud dell'edificio, realizzato con una vetrata isolante di 19 mm la cui lastra esterna, di vetro temperato, è trattata con pellicole selettive.

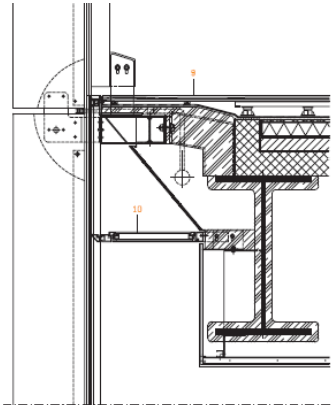
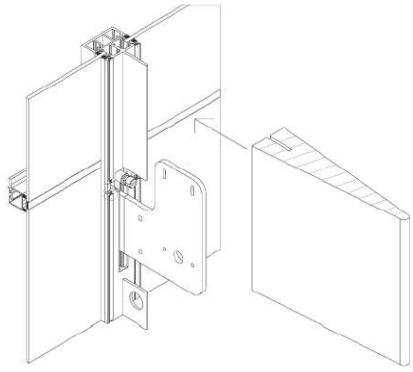
È evidente che tale tipo di soluzione costruttiva non consente di ottenere adeguati livelli di



Traslucido su trasparente

<p><i>comfort</i> interno, che vengono raggiunti - come la maggior parte dei progetti di questo tipo realizzati in Giappone - attraverso l'integrazione di impianti energivori, collocati in copertura. Sebbene le norme architettoniche giapponesi proibiscano l'utilizzo del legno sulle pareti esterne di edifici situati in zona urbana, è stato possibile ottenere una concessione speciale grazie al trattamento delle superfici delle lamelle di legno con una vernice impregnante e installando uno <i>sprinkler</i> in ciascuno degli 84 montanti.</p>	
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati La pelle esterna, è costituita da: - staffe di ancoraggio di acciaio galvanizzato, sp. 12 mm; - montanti di legno lamellare di larice giapponese, n. 84.</p> <p>La pelle interna, invece, è costituita da una vetrata isolante di 19 mm di spessore, la cui lastra esterna, di vetro temperato è trattata con pellicola selettiva.</p>	
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare Gli uffici prospicienti la strada hanno una visuale filtrata dalle lamelle, che assicurano protezione dal surriscaldamento e dall'abbagliamento, definendo un articolato gioco di luce e ombra.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO

 <p>Sezione verticale del sistema di facciata</p>	 <p>Schema di montaggio del montante di legno di larice in</p>
--	--

Fonte: www.kkaa.co.jp, Ianaccone, G., Fujitsuka, M., Malighetti, L., "Lame di larice su Omotesando", *Arketipo*, 4/giugno 2006, pp. 55-61

Salt Point House

Thomas Phifer and Partners
New York, USA
2006



NC



Committente: Privato
Collaboratori: Greg Reaves
Joseph Sevene

Facciate: Marvin
Strutture: Seth Wolfe for Weidlinger Associates
Illuminotecnica: LaMar Lighting

Descrizione sintetica dell'intervento

Questa residenza di 200 m² è immersa nella natura, in un prato con una suggestiva vegetazione, vicino a un piccolo lago privato nella Hudson Valley, nello stato di New York. Il progetto opera secondo criteri di semplicità e funzionalità e cerca l'eleganza attraverso parametri di economicità, disegnando un compatto parallelepipedo allungato, che aderisce con leggerezza al terreno. All'interno, l'ampia zona giorno, con veranda e cucina, si sviluppa al piano terra; al piano superiore si trovano le stanze da letto, lo studio e uno spazio centrale pavimentato in vetro, che immette luce al piano inferiore.

I prospetti Est e Ovest si aprono con vetrate continue a tutta altezza: entrambi gli accessi si inquadrano in spazi protetti dal prolungamento della parete metallica. Sul lato Est, attorniato dal bosco, si situa la scala di ingresso principale a doppia altezza, in cui è posta in evidenza la scala che porta al piano superiore, con i gradini a sbalzo sulla parete. Sul lato Ovest, la veranda doppia altezza forma un ambiente articolato insieme al soggiorno e fornisce luce alle stanze da letto, aprendone la vista sull'esterno.

Il progetto valorizza la luminosità naturale, seguendo le variazioni durante il giorno e le differenti viste del paesaggio: le molteplici fonti di luce, le grandi pareti vetrate a Est e Ovest e la fascia continua di finestra sui prospetti a Nord e a Sud, connettono la casa con l'ambiente circostante. I dodici lucernari ovali in copertura proiettano all'interno i colori e la luminosità del cielo.

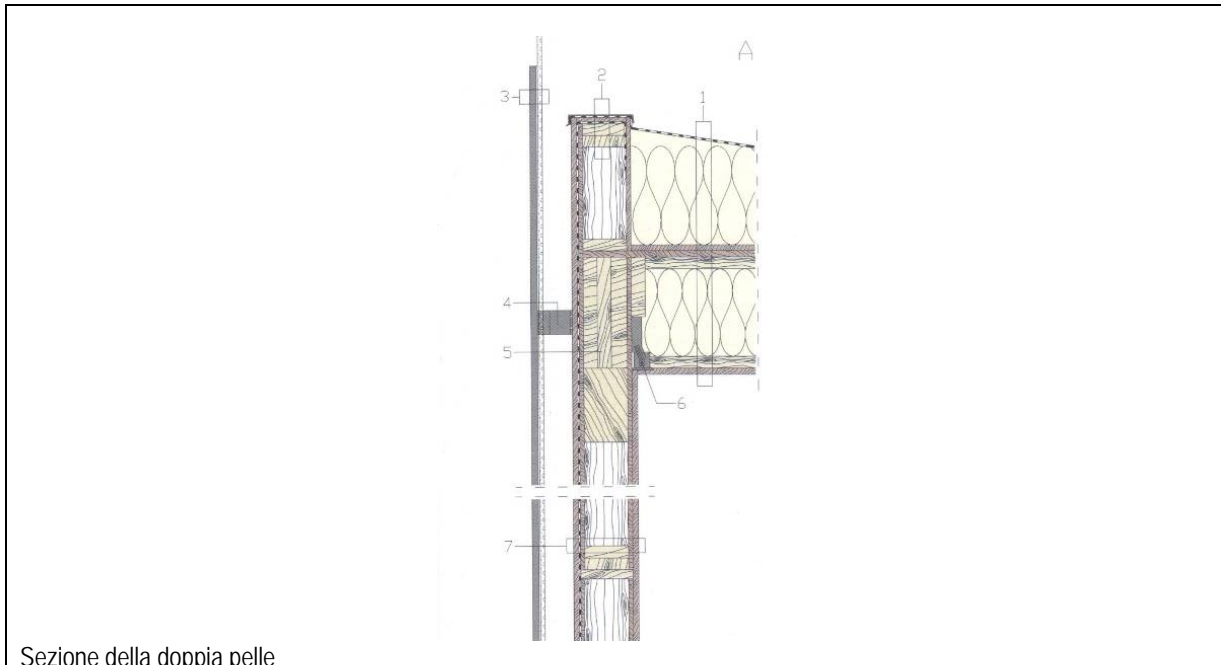
L'uso di materiali resistenti, funzionali ed economici assolve al criterio di contenimento dei costi. All'interno, pareti, pavimenti e soffitti sono rivestiti in compensato di acero, impiegato anche per gli arredi su misura e gli armadi a muro. Le lampade fluorescenti incassate in strette nicchie a parete si intonano con sobrietà all'arredo.

La collocazione della casa ed il suo orientamento sono determinati anche dalla direzione della brezza estiva. Finestre e lucernari consentono una corretta circolazione dell'aria.




ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro I prospetti a Nord e a Sud hanno una struttura esterna modulare in pannelli microforati d'acciaio inossidabile, su telaio a montanti tubolari: le pareti si interrompono in corrispondenza della lunga finestra a nastro nella fascia inferiore, oltrepassano in lunghezze a altezza il volume dell'edificio e formano una protezione esterna. L'effetto di trasparenza in filigrana lascia intuire la reale sagoma dell'edificio.</p>	 Traslucido su opaco
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati <u>Facciata Nord e Sud</u> La pelle esterna è costituita da una struttura esterna di rivestimento e finitura per la protezione dai raggi solari e dai venti composta da pannelli ondulati e traforati in acciaio inossidabile 570X4460 mm fissati a montanti con sezione tubolare in alluminio estruso Φ 19 mm (vedi sezione, 3). Vi è inoltre una staffa in alluminio a T sp. 6 mm per l'ancoraggio della struttura esterna alla sottostruttura mediante imbullonatura (vedi sezione, 4). I pannelli microforati in acciaio inossidabile di rivestimento proteggono dal calore e dai forti venti invernali: l'intercapedine fra pannelli e struttura interna costituisce un moderatore climatico che aiuta a mantenere l'ambiente interno a temperature gradevoli. La pelle interna è composta da pannelli di rivestimento esterno in compensato d'acero sp. 16 mm, barriera al vapore, pannello strutturale in legno d'acero 12,7 mm, telaio formato da correnti in legno 38X133 mm e montanti in vista, pannello strutturale in legno d'acero 12,7 mm, pannello in compensato d'acero 123X19 di finitura interna (vedi sezione, pacchetto 7).</p>	 
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare La ventilazione interna e la protezione termica, fornita dal rivestimento esterno, assicurano durante i caldi mesi estivi temperature confortevoli, anche senza l'uso dell'aria condizionata.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.tphifer.com, Scott, F., "Salt Point House, New York, USA", The Plan, 025 aprile 2008, pp. 56-67

Solar Decathlon TU Darmstadt Washington D.C., USA 2007		NC		
--	---	-----------	---	---



Committente: Solar Decathlon Collaboratori: Studenti della Facoltà di Architettura, TU Darmstadt	Sponsor: BBT, Hochtief, Ludwig Haeussler GmbH Strutture: Woerner, Jochen Stahl Premio: Vincitore del primo premio SD 2007
---	--

Descrizione sintetica dell'intervento

Solar Decathlon è una prestigiosa manifestazione internazionale che si tiene a Washington D.C.. dedicata ai prototipi di abitazioni innovative, ad alta efficienza energetica e indipendenti da fonti di energia fossile non rinnovabile. L'edizione 2007 è stata vinta dall'Università tedesca TU Darmstadt. Il gruppo ha concepito un volume semplice e intelligente: un parallelepipedo di legno con zone di vita e lavoro poste a sud, mentre le zone notte e servizio sono dislocate a nord. Molto interessante è la flessibilità spaziale, accuratamente progettata, che amplifica le funzioni (cucina, soggiorno, terrazzo, servizi) a seconda delle necessità differenti nell'arco della giornata. La tecnologia costruttiva si basa sull'uso del legno, proveniente da forestazione controllata e rigenerabile, utilizzato sia nelle porzioni portanti che nei tamponamenti e in parte nell'isolamento interno. Centrale è, poi, l'utilizzo dell'energia solare a più livelli: per produrre energia elettrica mediante diversi tipi di pannelli fotovoltaici, come complemento a una pompa di calore grazie ai pannelli solari termici posti in copertura e come irraggiamento diretto invernale attraverso le pareti trasparenti. Quest'ultimo fenomeno viene attenuato in estate grazie alle schermature orientabili (di lamelle di legno) e al posizionamento di materiali a inerzia termica artificiale programmabile, Phase Change Materials (PCM), nell'involucro interno.

Tornato in Germania, l'edificio è stato rimontato nel Campus di Darmstadt, dimostrando quindi anche i valori energetici legati al riutilizzo, intrinseci alle tecnologie a secco. Attualmente è usato come laboratorio avanzato dedicato alle tecnologie fotovoltaiche e alle connesse attività di shared investments della comunità universitaria.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

A) Definizione della tipologia di involucro




La facciata Nord è costituita da due differenti tipologie di involucro.

1) Traslucido su opaco: la pelle esterna è formata da pannelli frangisole in legno incernierati e impacchettabili a portafoglio. La seconda pelle è rifinita di legno.

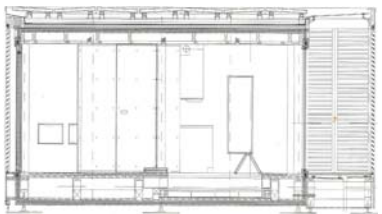
2) Traslucido su trasparente: la pelle esterna è formata da pannelli frangisole in legno incernierati e impacchettabili a portafoglio. La seconda pelle è costituita da ampie vetrate, da pavimento a soffitto.



Traslucido su opaco

<p>Le lamelle brise soleil in legno (anch'essi incernierati e impacchettabili a portafoglio) della facciata Sud sono dotate di lamine fotovoltaiche e quindi proteggono dal sole e, al tempo stesso, producono energia nel periodo più caldo dell'anno. La pelle interna è costituita da superfici completamente vetrate. Per l'estate, al fine di prevenire il surriscaldamento, la facciata sud è protetta da un portico aggettante.</p>	 Traslucido su trasparente
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati <u>Facciata Nord</u> La pelle esterna è costituita da frangisole in legno (che fungono da veneziani oscuranti). La pelle interna è composta da pannelli in legno vacuum iperisolanti e da vetrate di quattro vetri e tripla camera con gas nobili.</p> <p><u>Facciata Sud</u> La pelle esterna è costituita da lamelle orientabili di legno accoppiate a lamine fotovoltaiche di silicio amorfo a inseguimento solare domotico.</p> <p>Per quanto riguarda la pelle interna si tratta di una superficie vetrata composta da tre vetri a doppia camera isolante. La pelle interna è "attiva", dotata di tecnologia invisibile, grazie all'utilizzo di pannelli di gesso rivestito nobilitati dall'aggiunta, nel nucleo, di Phase Change Materials (PCM). Si tratta di materiali a cambiamento di fase, con cui è possibile calmierare i picchi termici oppure differirli, in grado di fornire inerzia termica artificiale programmabile con un peso esiguo (15 mm di pannello, del peso simile a quello del gesso rivestito ordinario, equivalgono alla capacità termica di 100 mm di calcestruzzo pieno e 120 mm di laterizio).</p>	 
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare Le facciate est e ovest sono circondate da una cortina di frangisole a lamelle orientabili di legno. Anche la facciata nord presenta frangisole in legno: in questo caso però hanno l'unica funzione di protezione luminosa.</p>	
<p>D) Analisi di sistemi evoluti per la gestione dell'involucro I moduli di silicio amorfo che si trovano nelle facciate verticali vengono orientati automaticamente da un sistema domotico in modo che i frangisole si comportino anche da inseguitori solari e forniscano il massimo d'energia collegato all'ottimale protezione solare estiva.</p>	
<p>E) Analisi delle tecnologie per il recupero dell'energia solare Le prestazioni invernali, affidate principalmente all'isolamento termico, alla captazione solare e ai guadagni energetici interni, mostrano un fabbisogno inferiore a 15 KWh/m2 anno, che rientra nello standard tedesco Passiv Haus (misurato mediante PHPP).</p> <p>L'interno è raffrescato sia da ventilazione (configurazione aperta) che, nei periodi più caldi e privi di oscillazioni tra giorno e notte o di brezze, da un sistema di raffrescamento radiante a soffitto (configurazione chiusa), integrato ai pannelli con PCM, che sfrutta un processo di evaporative cooling dislocato in copertura. In caso estremo una pompa di calore, alimentata da pannelli solari termici, è in grado di fornire aria calda o fresca a seconda della stagione. L'acqua calda è fornita da collettori solari piani e alimenta sia i servizi che i pannelli radianti a pavimento disposti solo nel locale bagno.</p> <p>I sistemi fotovoltaici utilizzati sono di diverso tipo: monocristallini disposti sul tetto piano, inclinati del 19% e in grado di fornire 8,6 KWp, monocristallini tralucenti, inseriti in vetri multistrato in copertura, supportati da fissaggi puntuali a spider, a protezione del portico a sud e moduli di silicio amorfo integrati nei frangisole di legno che proteggono le facciate verticali e forniscono complessivamente 2 KWp.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO

 Sezione longitudinale Nord-Sud

Fonte: www.solardecathlon.org, Imperadori, M., "Schermi dinamici", *Arketipo, Sostenibilità costruita* S2/2008, pp. 38-41


Wall House FAR Frohn&Rojas Santiago, Cile 2007		NC		
--	---	-----------	---	---




Committente: Privato	Superficie coperta: 230 m ²
-----------------------------	---

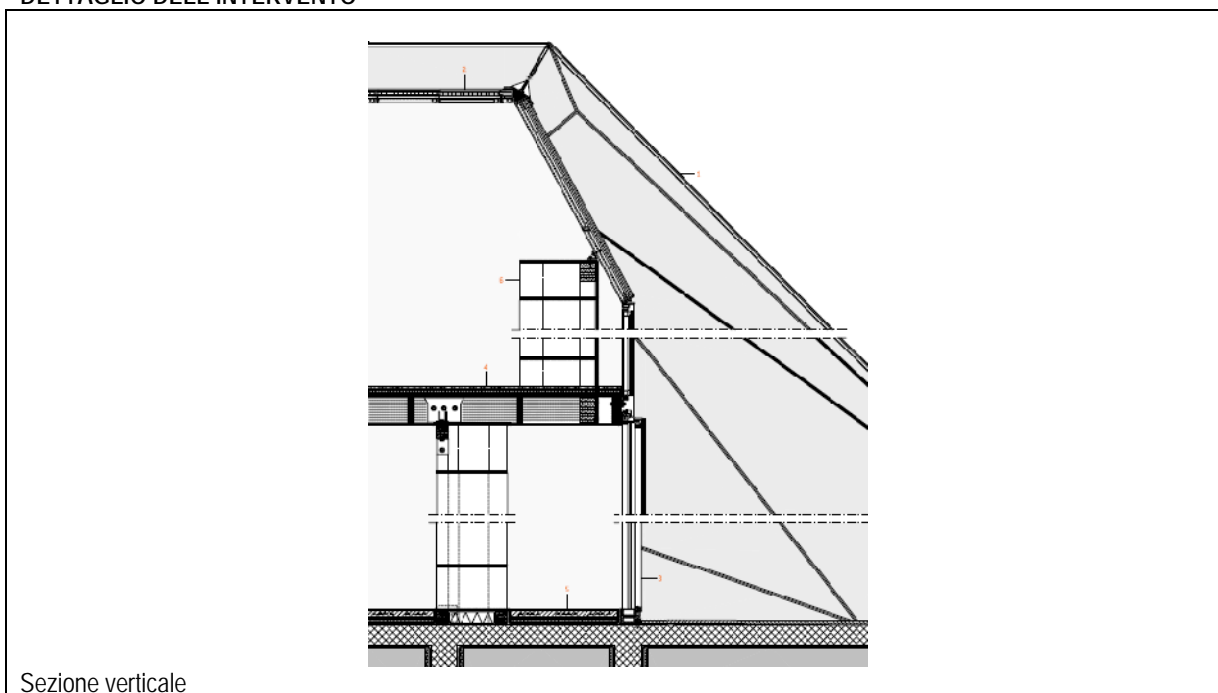
<p>Descrizione sintetica dell'intervento</p> <p>Una casa d'abitazione, situata al limite della città di Santiago del Cile, è l'opera prima di un gruppo di giovani architetti di diverse nazionalità il cui nome FAR, più che un acronimo dei cognomi, denuncia la loro scelta programmatica di svolgere il lavoro di equipe stando lontano, sfruttando al meglio le potenzialità della rete e incontrandosi, di tanto in tanto, in una delle loro tre sedi: Köln, Santiago del Cile e Città del Messico.</p> <p>Con questo progetto il team di progettazione si è allontanato completamente dalla diffusa equivalenza di casa = scatola protettiva: una rete di polietilene e un tessuto di poliestere intrecciato con nastri di alluminio, una scocca continua di lastre di policarbonato alveolare interrotta da grandi vetrate scorrevoli, una serie di chiusure verticali e piastre orizzontali di compensato di legno, tavolati per casseforme e travi di legno lamellare e, infine, un piccolo e unico nucleo di calcestruzzo armato, sono questi gli elementi costruttivi messi in gioco.</p> <p>Un guscio interamente chiudibile e caldo per la stagione fredda (che in quelle zone non va mai al di sotto dei 10 °C), e apribile nella stagione calda (con temperature che raggiungono i 35-40°C).</p> <p>All'interno della casa sono stati realizzati ambienti che si sviluppano - a partire dal piccolo nucleo in calcestruzzo, destinato ad ospitare i servizi igienici - su due piani, delimitati da pareti/scaffalature e da solai portanti in legno.</p> <p>Oltre a questi si incontra il vero e proprio involucro esterno, che è costituito da una "scocca" variamente composta con rete di polietilene e tessuto in poliestere, per lo strato esterno, e pannelli di policarbonato per quello interno. La doppia membrana costituisce l'area flessibile dello spazio abitativo: in inverno funziona da accumulatore di calore e barriera per il freddo, in estate, invece, si crea un ulteriore spazio aperto, ma protetto.</p>
--

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro</p> <p>La peculiare conformazione dell'involucro offre lo spunto per sottolineare che, allargando lo sguardo a comparti industriali più avanzati rispetto a quello edilizio, il progettista oggi può trovare occasioni interessanti per trasferire in architettura materiali e tecnologie già disponibili.</p> <p>In questo caso, una rete frangivento di polietilene, di provenienza del settore dei tessuti tecnici per l'agricoltura, e un tessuto di poliestere confezionato appositamente con strisce di alluminio, prodotte e derivate dal settore degli isolanti per macchinari industriali, sono stati confezionati insieme secondo un disegno che ottimizza l'apporto solare in ingresso sia</p>	 <p>Traslucido su trasparente</p>
---	---

<p>d'inverno che d'estate. La membrana di polietilene, così come la scocca di lastre di polycarbonato alveolare traslucido, sono elementi tecnici "mono-componente", costituiti cioè da un solo elemento chimico. Ciò ne facilita sia il possibile riciclo che l'eventuale smaltimento.</p>	
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati La pelle interna è costituita:</p> <ul style="list-style-type: none"> - per la parte opaca da pannelli di polycarbonato alveolare a tre camere, intelaiati su profili a C di acciaio zincato, sp. 40 mm; - per la parte trasparente da serramenti scorrevoli. <p>La pelle esterna, invece, è costituita da una membrana composta da un tessuto di poliestere intrecciato con strisce di alluminio riflettenti la radiazione solare e da una rete di polietilene di protezione dagli insetti.</p>	
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare La particolare collocazione geografica ha permesso di realizzare un edificio dalla ridotta massa, con indubbi vantaggi economici per la sua realizzazione, economia che si realizza anche in fase di gestione per effetto delle peculiari scelte progettuali fatte: le ampie superfici vetrate o traslucide che assicurano il massimo di permeabilità alla luce solare e la particolare configurazione della doppia pelle che riduce i costi energetici adottando un sistema di accumulazione del calore attraverso forme passive di riscaldamento.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.f-a-r-.net, Zanelli, A., Palma, C., "Membrane e scocche", *Arketipo*, 27/Ottobre 2008, pp. 58-69

5.2.2 Casi studio europei

Acquario fluviale Promontorio Architects Mora, Portogallo 2006		NC		
--	---	----	---	---



Committente: Municipality of Mora Museologia: Cosestudi Consulente ambiente: Naturanima	Paesaggio: Arqpais Strutture: Quadrante Consulente per l'acquario: Reynolds
--	--



Descrizione sintetica dell'intervento

Lo studio d'architettura portoghese Promontorio è autore del semplice e nel contempo complesso progetto per un acquario fluviale, centro di ricerca e conservazione ambientale, nei dintorni di Mora, nella regione dell'Alentejo, a Sud di Lisbona. Il parco ecologico del Gameiro, in cui si inserisce l'architettura dell'acquario, è ricco di emergenze paesaggistiche ed esperienze architettoniche didattiche, coerenti con obiettivi di valorizzazione turistica. Nel paesaggio leggermente ondulato dell'Alentejo, a contatto con boschi e coltivazioni di sugheri e uliveti, il progetto architettonico si ispira alla semplicità di volumi tipica delle costruzioni rurali tradizionali, i "montes", bassi edifici ad un piano, con coperture a doppia falda. Il complesso dell'acquario fluviale ricalca questo schema antico, evitando accenti ed evidenze lungo la linea orizzontale del paesaggio. L'assetto dell'acquario, che assomma molteplici compiti attribuiti dalla museologia contemporanea ai centri di ricerca ambientale, dalla didattica all'indagine scientifica, rispecchia una distribuzione per nuclei tematici, ricostruendo la natura della flora e della fauna fluviale nelle numerose "vasche" incorniciate con eleganti vetrate, su basamento rivestito in lastre di terracotta intonacata.

L'idea è di connettere, in uno spazio a struttura regolare, percorsi che si intersecano e moltiplicano. Si viene a formare una continuità di esperienze sensoriali, in un'atmosfera resa unitaria dal rigore e dalla linearità degli elementi architettonici, pareti e pavimentazioni di semplice concezione, funzionali in una penombra diffusa ad orientare l'attenzione verso la ricostruzione in sequenza degli ambienti fluviali.

L'edificio situato alla confluenza di due modesti corsi d'acqua si affaccia su un bacino, che diviene parte integrante del complesso, su cui si sviluppa ed allinea un percorso sospeso sull'acqua con pavimentazione lignea e sottili elementi metallici per le ringhiere di protezione. Il basamento interrato alloggia gli impianti tecnici generali e le attrezzature per la gestione dei parametri fisico-chimici di acqua, aria e luminosità all'interno dell'acquario e delle vasche, nonché gli spazi necessari per l'eventuale quarantena della fauna ittica.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro I prospetti Est e Ovest sono costituiti da una doppia pelle traslucida su opaco. La sagoma volumetrica è definita dalla sequenza dei setti prefabbricati in calcestruzzo bianco, che ne descrivono i contorni come se si trattasse di un edificio intero a portico o a pergolato. All'interno si sviluppa il vero nucleo architettonico, attorniato da un corridoio di deambulazione che media le relazioni con l'ambiente circostante, riferimento essenziale della conformazione dell'edificio.</p>	 <p>Traslucido su opaco</p>
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati <u>Facciata Ovest</u> La pelle esterna è costituita da capriate prefabbricate in cemento armato colore bianco di copertura dell'acquario 100X20cm.</p> <p>Il pacchetto della pelle interna è composto da intonaco sabbiato fine e regolare color bianco 20mm, muratura in mattoni 110 mm, camera d'aria 30 mm, strato di isolamento termico tipo Wallmate 30 mm, muratura in mattoni 110 mm, intonaco verniciato color grigio scuro.</p>	
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare La pelle esterna funge essa stessa come elemento di protezione dai raggi solari incidenti. Inoltre l'esposizione Est – Ovest è adeguatamente risolta sfruttando la pelle esterna come frangisole verticale.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.promontorio.net, Pagliari, F., "Acquario fluviale, Mora, Portogallo", *The Plan*, 022 novembre 2007, pp. 68-81

Black Treefrog
Splitterwerk
Bad Waltersdorf, Austria
 2004



RE



Committente: Franz and Gertrude Brugner
Collaboratori: Mark Blaschitz, Hannes Freiszmuth, Johann Grabner, Edith Hemmrich, Bernhard Kargl, Antje Neitsch, Gernot Ritter, Josef Roschitz, Andreas Stampfer

Strutture: Wilhelm Lerch
Progetto impianti: Peter Kautsch
Superficie lorda: 620 m²

Descrizione sintetica dell'intervento

L'edificio plurifamiliare sperimentale sorge nell'antico centro di Bad Waltersdorf, località termale della Styria. E' stato realizzato dal collettivo Splitterwerk, che comprende oltre trenta creativi attivi da più di un decennio nella scena austriaca con progetti sperimentali al confine tra arte e architettura. "Black Treefrog" espone in modo radicale il loro concetto di abitare contemporaneo. A rendere più spinta l'innovazione del progetto è il fatto che si tratta di un recupero che, pur agendo entro i limiti volumetrici dell'anonima struttura preesistente, ne modifica profondamente l'immagine e la fruibilità.

L'insieme è composto da due piccoli volumi rettangolari con tetto a padiglione, risalenti ai primi del Novecento, che formano una corte. L'intervento agisce solo marginalmente sulla struttura dell'edificio preesistente, lasciandone, di fatto, invariata la forma complessiva.

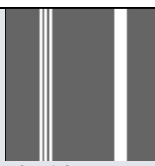


Due sono gli elementi innovativi del progetto: la creazione di una nuova pelle, che uniforma l'aspetto eterogeneo dei volumi, e la giustapposizione di un nuovo involucro interno staccato dalla scatola esterna per formare una fascia di servizio capace di cambiare l'uso dello spazio interno di ogni alloggio rendendolo intrinsecamente flessibile.

L'immagine monocromatica dell'edificio è raggiunta per mezzo del rivestimento esterno di sottili lamelle di legno color nero che avvolge in modo uniforme le facciate, le coperture piane e quelle inclinate.

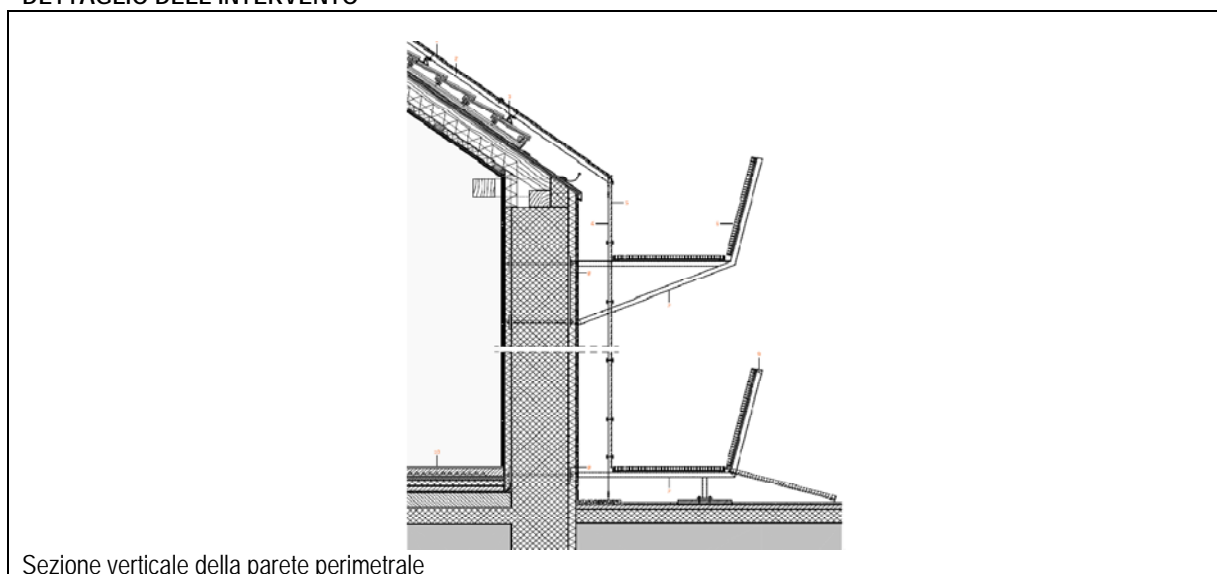
La nuova pelle è pensata per fornire il supporto per la crescita del rampicante di vite locale, con il risultato che la costruzione non solo si uniforma al paesaggio rurale circostante, ma è in grado di mutare il proprio colore da nero in verde o rosso a seconda delle stagioni. Ciò concretizza quell'ideale di trasformabilità sottointeso nell'intrigante e ironico nome commerciale "Black Treefrog", che allude alla capacità delle rane di essere mutevoli.

Anche gli alloggi ricavati dal volume estremizzano la ricerca sperimentale sulla flessibilità. All'interno dei singoli appartamenti è stata realizzata una fascia perimetrale di servizio in cui sono contenute, celate dietro un sistema di uniformi pannelli a soffitto a tutta altezza, le installazioni tecniche di servizi igienici e angolo cottura, oltre che le scale e le alcove letto. Ognuna di queste funzioni può essere attivata separatamente o contemporaneamente alle altre, attraverso il semplice dispiegamento delle pareti a tutta altezza, ed essere estesa alla zona neutra interna rendendo estremamente flessibile l'organizzazione dello spazio.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro</p> <p>L'involucro esistente è stato riqualificato con un isolamento a cappotto senza finitura superficiale e con una nuova pelle formata da sottili lamelle di legno dipinte di nero, pensate per divenire con il tempo un sistema di supporto per il verde rampicante. La nuova pelle è staccata dalle pareti esistenti di circa 30 cm e, in corrispondenza del corpo a ovest, di quasi 2 m per mascherare le scale d'ingresso ai singoli alloggi del piano rialzato.</p> <p>Tale pelle avvolge non solo le facciate, ma anche le coperture, svolgendo un'efficace funzione di elemento frangisole. Le lamelle sono assemblate tra loro a formare delle stuoie di circa 1 m di lunghezza, con le singole lamelle legate in quattro punti attraverso una sottile maglia metallica. La stuoia, avvolgibile in corrispondenza delle aperture, è poi legata alla sottostruttura metallica del tetto e, in corrispondenza della facciata, a sottili tiranti metallici per mezzo di una coppia di rondelle metalliche poste alle due estremità dei listelli con interasse di 50 cm.</p> <p>Lunghi ballatoi metallici collegano i vari appartamenti e creano uno spazio aperto di pertinenza di ogni alloggio. Essi hanno una struttura metallica formata da tubolari di acciaio sostenuta da mensole ancorate alla muratura esistente, solaio e parapetti formati da un grigliato metallico con sezioni puntualmente ribaltabili per fornire una passerella di accesso al suolo.</p>	 <p>Traslucido su opaco</p>
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati</p> <p>La pelle interna è costituita da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - isolamento termico a cappotto di pannelli di lana di vetro ad alta densità, sp. 60 mm; - chiusura esterna esistente di muratura portante sp. 500 mm; - controparete interna isolata con finitura di cartongesso, sp. 12 mm. <p>La pelle esterna invece è costituita da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - graticcio di legno fissato alla fune di acciaio per mezzo di vite a dado tra due rondelle \varnothing 25 mm, h. listelli 25 mm; - funi di acciaio ancorate tramite tenditore al tubolare. 	 
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare</p> <p>In copertura e sulle facciate il graticcio di legno svolge un'efficace funzione di elemento frangisole.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO

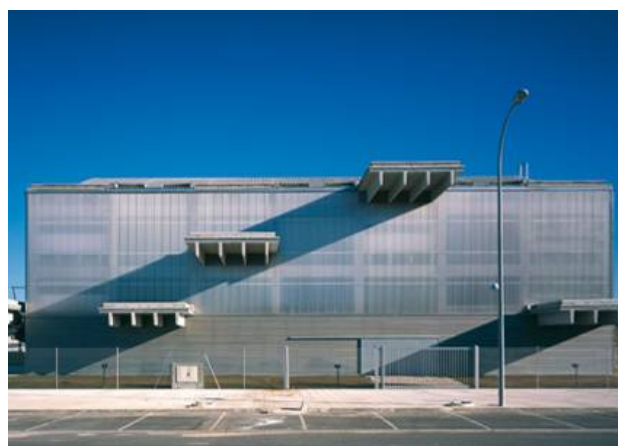


Fonte: www.splitterwerk.at, Malighetti, L., Ott, P., "Black Treefrog a Bad Waltersdorf", Arketipo, 32/Aprile 2009, pp. 70-83

Call center
Equip Arquitectura Pich-Aguilera
Toledo, Spagna
2005



NC



Committente: Telefonica Moviles
Resp. gruppo: Xavi Milanés / Angel Sendarrubias
Specialisti: Tecnici G3

Consulenti: Engineering / BD
Strutture: EMMA
Energie rinnovabili: IGP Group

Descrizione sintetica dell'intervento

La progettazione degli edifici cerca di integrare la funzione con le forme architettoniche bioclimatiche, generando un processo costruttivo industrializzati (determinante per il risparmio energetico ed economico).

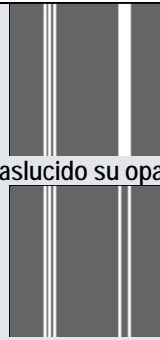
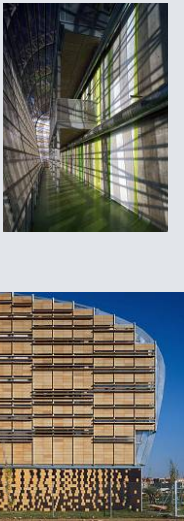
L'edificio è concepito come grande contenitore dove gli elementi industrializzati sono assemblati. Due nuclei tridimensionali e il portico sostengono grandi lastre che formano una struttura costituita da ponti a diversi livelli all'interni dell'intera area di lavoro.

L'intera atmosfera e il comportamento energetico è fissato dal cuore della costruzione, in architettura l'essenza dell'edificio e i materiali non costituiscono un'addizione successiva.

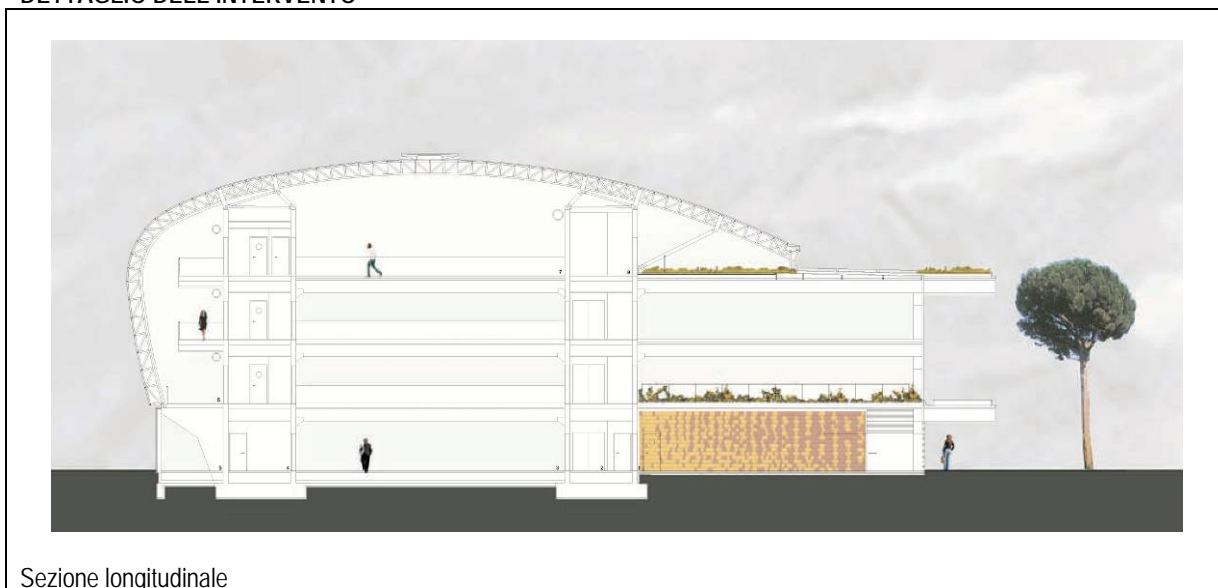
La volontà di evitare un'ulteriore finitura è effettuata apparentemente dal mostrare elementi industrializzati e i materiali, rafforzando la loro forza plastica.

Due funzioni svolge chiaramente l'edificio: la prima zona a servizio degli operatori funge da grande atrio condizionato con un grande tetto traslucido che permette la cattura ottimale di energia attraverso le piazzole. La seconda zona a servizio degli uffici, area di controllo, camere e servizi di formazione è impostata su volumi chiusi e in parte su patii coperti con funzione principalmente bioclimatica. The patio vegetation has a very important role, for cooling and sound absorbing functions. Il vegetazione del patio svolge un ruolo molto importante, per il raffreddamento e la funzione di fono-assorbenza.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro La facciata Sud è costituita da una doppia pelle traslucida su opaco. L'intercapedine funge anche da spazio di servizio in quanto è praticabile ed è dotata di passerelle di accesso diretto dall'interno.</p> <p>Le facciate Est e Ovest sono invece costituite da un involucro a doppia pelle appartenente alla famiglia traslucida su trasparente.</p>	 <p>Traslucido su opaco</p> <p>Traslucido su trasparente</p>
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati <u>Facciata Sud</u> La pelle esterna è costituita da una trave reticolare alla quale sono appoggiati pannelli traslucidi in polimeri plastici. Nello specifico la superficie continua si trova verso l'interno dell'intercapedine, mentre la struttura reticolare è a vista verso l'esterno. La pelle interna è costituita da pannelli prefabbricati in cemento colorato.</p> <p><u>Facciate Est e Ovest</u> La pelle interna è costituita da vetro basso emissivo. La pelle esterna è invece costituita da elementi modulari in ceramica utilizzati sia come rivestimento esterno continuo che come frangisole.</p>	
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare La pelle esterna, soprattutto nella facciate Est e Ovest, funge da elemento di protezione solare</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.picharchitects.com, Delbene, G., "Public Private Ephemeral - Ceramics in Architecture", Barcellona, *Actar D*, 2008, pp. 33-37

Casa unifamiliare
Buergher Katsota Architects
Vienna, Austria
2007 – 2008



NC



Committente: Privato
Progetto del verde: Jacob Fina
Progetto acustico: Bernd Quiring

Facciate trasparenti: Metallbau Heldenbauer GMBH
Strutture: Dimistris Stefanoudakis
Involucro tessile: Tensoforma Trading SRL

Descrizione sintetica dell'intervento

Semplice nella sua concezione formale e architettonica, performante dal punto di vista energetico e nello stesso tempo, inusuale rispetto alla produzione locale (e non solo). La nuova residenza di un giovane musicista pone le basi per una revisione concettuale di tutte quelle espressioni architettoniche a basso fabbisogno energetico (Niedrigenergie Haus) caratterizzate da un aspetto tipizzato. Questo progetto suggerisce un approccio differente; non si tratta solo di incrementare la resistenza termica dell'involucro o di controllare i ponti termici (tecnicismi necessari per limitare le dispersioni di energia) quanto piuttosto di costruire un oggetto architettonico originale in grado di soddisfare le esigenze di chi, questo spazio, lo vive.

La villa, costruita sulle colline che circondano Vienna, conferisce un nuovo equilibrio tra elementi naturali ed architettonici (espressione della tradizione). L'edificio sorge su un lotto stretto e allungato con un lieve dislivello che permette al progettista di ridurre l'impatto visivo del costruito. Una sequenza di piccoli episodi connessi tra loro mediante terrazzamenti trattati a giardino. Il corpo edificato principale è costituita da un piano seminterrato, destinato ad accogliere gli impianti, i locali di servizio e l'autorimessa, e da due piani fuori terra che accolgono due appartamenti con ingresso separato. La finitura della parte in vista del basamento è in pieno contrasto con la seconda pelle che caratterizza i piani abitati superiori: massivo - pietra in opposizione a leggero - involucro tessile, scuro contro chiaro, statico contro dinamico.

Gli ambienti sono distribuiti secondo "le migliori indicazioni manualistiche": i bagni e le cucine a nord, le camere da letto a est e la zona giorno a sud-ovest.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA





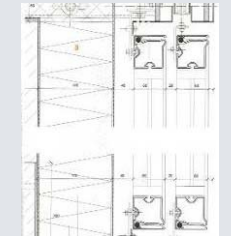
A) Definizione della tipologia di involucro

Tutto è concepito e organizzato per sfruttare al massimo gli apporti solari gratuiti e l'attivazione della massa.

La facciata Ovest è costituita da grandi superfici trasparenti protette dalla membrana tessile che si apre a libro (secondo livello).



Traslucido su trasparente

<p>Nelle facciate Nord, Sud e Est le superfici trasparenti sono ridotte e sono protette da pannelli removibili. Inoltre sono presenti porzioni che prevedono la pelle interna opaca.</p> <p>La distanza che intercorre tra tessuto e chiusura è determinata dalla modalità di apertura dei pannelli. Lo spessore minimo di intercapedine (40mm) lo si ha quando la seconda pelle è fissa (su parte opaca) o quando l'apertura del pannello è a scorrere orizzontale, mentre lo spessore massimo lo si trova in corrispondenza delle aperture a libro.</p>	 <p>Traslucido su opaco</p>
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati</p> <p><u>Facciata Ovest</u></p> <p>La pelle esterna è costituita da grandi pannelli modulari (3940 X 1000 mm) di PTFE (fibra di vetro rivestita in Teflon) tesato. La scelta di questo tessuto è legata ai seguenti aspetti caratteristici: ha un discreto coefficiente di trasmissione luminosa (un valore troppo basso porterebbe, in caso di attivazione, ad ambienti bui con la conseguente necessità di mettere in funzione l'impianto di illuminazione), è in grado di riflettere la componente termica della radiazione solare, è un materiale leggero (570 gr) resistente alla trazione ed infiammabile (DIN 4102), dura nel tempo ed è facilmente mantenibile. La variabilità è legata al carico prestazionale che viene assegnato all'elemento tessile. In corrispondenza delle superfici trasparenti la membrana ha lo scopo di controllare gli apporti solari gratuiti e il flusso luminoso negli ambienti interni. Qui le grandi superfici tessili si attivano e disattivano (manualmente) in relazione alle forzanti esterne (la facilità di manovra viene assicurata grazie a un sistema di bilanciamento a molle).</p> <p>La pelle interna è composta da tripli vetri con interposta camera d'aria e da serramenti in alluminio a taglio termico.</p>	 
<p><u>Facciata Nord, Sud e Est</u></p> <p>La pelle esterna è anche qui composta da una membrana tessile ma che non ha come prima funzione quella di incrementare la resistenza termica dell'intero sistema e di limitare i carichi termici superficiali determinati dalla ventilazione in intercapedine (effetti che in minima parte si ottengono), quanto piuttosto quella di proteggere gli strati interni dall'azione combinata di pioggia e vento. In presenza di un elevato spessore dello strato isolante (come in questo caso) l'efficacia energetica del rivestimento e della eventuale ventilazione in intercapedine, infatti, è quasi nulla.</p> <p>Per quanto riguarda la pelle interna si tratta di supporto murario di tipo tradizionale: piccoli blocchi con isolamento a cappotto (mattoni multifori di laterizio alveolare). La scelta di questa soluzione permette di ottenere la continuità dello strato isolante, realizzato con pannelli rigidi di lana di roccia e fissato mediante tassellatura meccanica, per l'intero estradosso della parte muraria. In corrispondenza degli aggetti (balconi e logge) la continuità della resistenza termica viene garantita dall'impiego di connettori portanti termoisolanti (polistirolo espanso). Lo spessore dello strato isolante è variabile in funzione del tipo di supporto singolo o doppio: si passa da 14 a 20 cm. In copertura, l'isolamento raggiunge spessori pari a 30 cm.</p>	 
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare</p> <p>La pelle esterna, soprattutto nella facciata Ovest, funge da elemento di protezione solare</p>	
<p>DETTAGLIO DELL'INTERVENTO</p>  <p>Assonometria del sistema di fissaggio del rivestimento tessile</p>	

Fonte: www.athens9.net, Poli, T., "Performance tessili", *Arketipo, Sostenibilità costruita* S2/2008, pp. 46-49


Casa unifamiliare Luca Lancini Madrid, Spagna 2004 – 2005		NC		
---	---	-----------	---	---

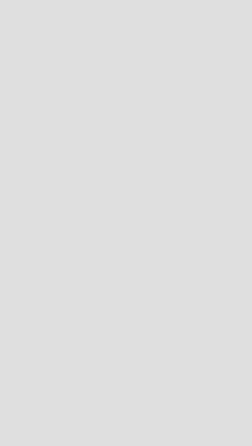




Committente: Fujy Arquitectura por Naturaleza Progetto strutture: Luca Lancini	Impianto elettrico: Ibener Ingeniería Superficie netta: 300 m ²
---	---

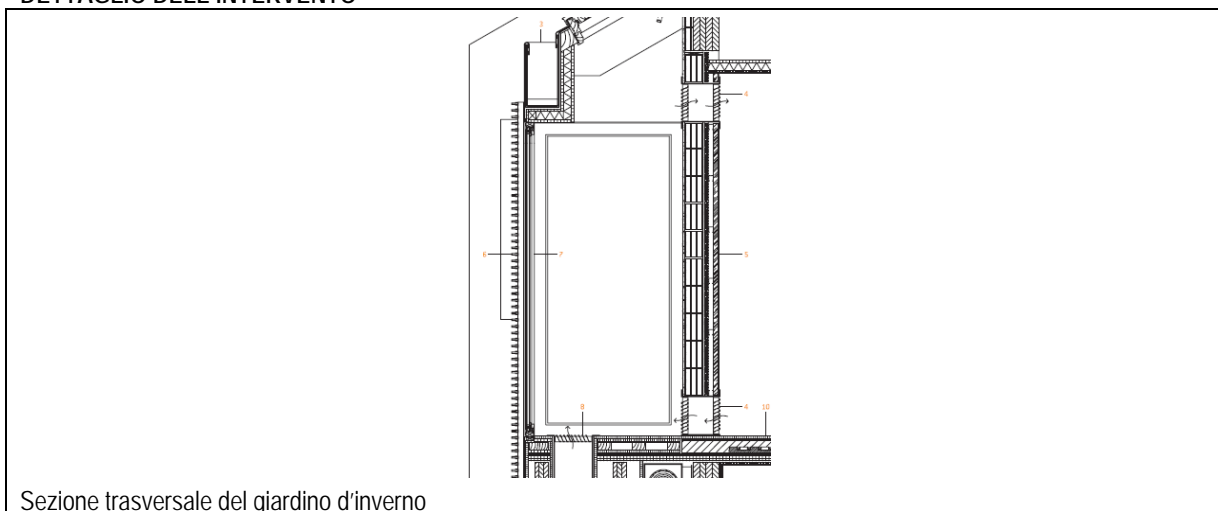
Descrizione sintetica dell'intervento La vivienda, progettata dall'architetto Luca Lancini e realizzata dalla società Fujy – Arquitectura por Naturaleza è situata a nord di un parco naturale nelle vicinanze di Madrid. Nel 2001 la società decide di promuovere un progetto sperimentale per una casa unifamiliare isolata, basato essenzialmente sui principi dell'architettura bioclimatica e della costruzione sostenibile standardizzata che possa servire da modello a residenze future. L'edificio sfrutta differenti sistemi per garantire un basso impatto ambientale durante il suo ciclo di vita utile: costruzione, uso e possibile riciclo/riutilizzo. L'adozione di questi principi ha comportato, tra l'altro, di trattare ogni singolo fronte dell'edificio in modo differente: la facciata esposta a sud è trasparente per sfruttare al massimo l'apporto gratuito dell'energia solare, ma è protetta da filtri selettivi; la facciata a nord è essenzialmente chiusa, ma con selezionate aperture di piccola dimensione per garantire la ventilazione naturale degli ambienti; il prospetto est è articolato con aperture dotate di sistemi di schermatura mobili e vetrocamera selettivi colorati che controllano il livello luminoso negli ambienti; il prospetto ovest è quasi completamente chiuso. Oltre all'uso di materiali fortemente isolanti, il progettista è ricorso a infissi ad alte prestazioni per un isolamento selettivo e ha realizzato giardini d'inverno per il guadagno solare. In particolare al primo piano, lungo la facciata esposta a sud, sono state costruite quattro serre di dimensioni differenti in rapporto alla metratura dello spazio interno di riferimento, intervallate da tre logge, uno spazio coperto, ma aperto alla vista del paesaggio circostante.
--

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

A) Definizione della tipologia di involucro Si tratta di serre a guadagno isolato, dove il trasferimento di aria calda agli ambienti adiacenti avviene attraverso scambi convettivi mediante l'apertura di apposite prese d'aria collocate nella parete interna. Quest'ultima è composta di uno strato di mattoni termoacustici argillosi dello spessore di 14 cm, una controparete interna di cartongesso con aggiunta di fibra di cellulosa proveniente da carta riciclata, una camera d'aria e uno strato di finitura interno di pannelli di legno rivestiti, e svolge la funzione di massa di accumulo termico sufficiente ad assorbire la radiazione solare e a smorzare le fluttuazioni di temperatura interne. Le superfici trasparenti sono costituite da infissi di alluminio a taglio termico e da vetrocamera stratificati di sicurezza caratterizzati da prestazioni di isolamento evolute. Il doppio strato è costituito da una lastra di vetro esterna ad alto potere isolante (vetro basso-emissivo) e una	 Traslucido su opaco
--	---

<p>interna laminata di sicurezza con interposto uno strato di PVB dello spessore di 0,38 mm. La combinazione così ottenuta permette di ridurre fino al 70% le dispersioni termiche invernali e fino al 40% gli apporti calorifici estivi. Infine, le vetrate sono protette da un sistema di schermatura orizzontale fisso formato da lame di alluminio estruso di 50x13 mm. Le lame sono agganciate per mezzo di montanti verticali di alluminio 40x40 mm posti ogni 1200 mm, hanno un interasse di 30 mm e sono orientate in modo da non ostacolare l'ingresso della radiazione solare nei periodi invernali e da evitare il surriscaldamento e i fenomeni di abbagliamento nelle stagioni estive. Per aumentare l'efficacia dei giardini d'inverno, è stato realizzato un sistema di ventilazione meccanica che regola l'apertura delle prese d'aria delle serre in relazione alla temperatura interna. Nella stagione invernale, mediante griglie metalliche ad apertura regolabile poste alla base e alla sommità della parete di accumulo, l'aria, preriscaldata nella serra, è convogliata nelle camere da letto attivando un sistema di ventilazione circolare. Nella stagione estiva, invece, grazie a una grata apribile a pavimento e a un piccolo lucernario in copertura, si crea una corrente d'aria ascendente continua che concorre ad evitare il surriscaldamento degli ambienti interni.</p>	
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati La pelle esterna, è costituita da un sistema di schermatura solare composto da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - lame di alluminio estruso 50x13 mm; - montanti verticali di alluminio 40x40 mm, <p>e da serramenti, così costituiti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - infisso di alluminio a taglio termico; - vetrocamera stratificato basso emissivo di sicurezza. 	
<p>La pelle interna, invece, presenta la seguente parete di accumulo (stratificazione dall'esterno):</p> <ul style="list-style-type: none"> - intonaco, sp. 15 mm; - forato termoacustico argilloso, sp. 140 mm; - doppia lastra di cartongesso con aggiunta di fibra di cellulosa, sp. 15*15 mm; - camera d'aria, sp. 40 mm; - pannello di legno rivestito agganciato con guide di alluminio, sp. 30 mm; - intonaco, sp. 10 mm. <p>Tra la pelle esterna e quella interna agisce un sistema di griglie dall'apertura regolabile.</p>	
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare La pelle esterna rappresenta anche un sistema di controllo solare.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.fujy.org, Gasparetto, F., Guzman, M., "Dialogo con il sole", *Arketipo*, 5/luglio-agosto 2006, pp. 32-43

Centro Marittimo Vellamo
Architects Lahdelma & Mahlamäki
Kotka, Finlandia
2008



NC



Committente: City Of Kotka

Superficie lorda: 14.366m²

Descrizione sintetica dell'intervento

Un polo multifunzionale integrato nella banchina del vecchio porto di Kotka, città della regione sud orientale della Finlandia, si erge sul mare come un'onda. La struttura mista di acciaio e blocchi alveolari di calcestruzzo disegna volumi e superfici; i pannelli di lamiera metallica, di vetro e di vetro serigrafato richiamano i colori delle acque.

Il Maritime Centre, inaugurato nel luglio 2008 - progettato dagli architetti Lahdelma & Mahlamäki - ospita due musei: il Maritime Museum della Finlandia, a carattere nazionale, il cui ruolo è quello di conservare e interpretare la storia della marina finlandese, mediante esposizione di oggetti, fotografie, manoscritti e documenti e il Museo della Regione Kymenlaakso, legato a immagini di mare e di vita quotidiana, ma anche esposizioni permanenti e temporanee.

Sono presenti nell'edificio anche altre funzioni: un centro di informazione e formazione condiviso dalle Università di Helsinki e di Scienze Applicate di Kymenlaakso, con biblioteca e archivio. Inoltre, a corollario delle attività principali, sono presenti bar e ristoranti, sale congressi, esposizioni permanenti, uffici dislocati a differenti livelli e un auditorium per 250 posti. L'organizzazione degli spazi segue la logica del centro polifunzionale, necessariamente impostato su principi di flessibilità che consentono l'adeguamento per differenti occasioni di mostre e didattica.

Il volume costruito si integra perfettamente con la banchina principale del vecchio porto e le preesistenze, che diventano esse stesse parte integrante del percorso museale.


I riferimenti al mare e alle attività ad esso correlate sono molti, come per esempio la scelta dei materiali e i colori dei pannelli di facciata, pensati per catturare e riprodurre il luccichio dell'acqua, le serigrafie che narrano avvenimenti storici, ecc. L'immagine stessa del Centro evoca quella di un'immensa onda, che dalla direttrice del centro città si protende verso il mare aperto.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

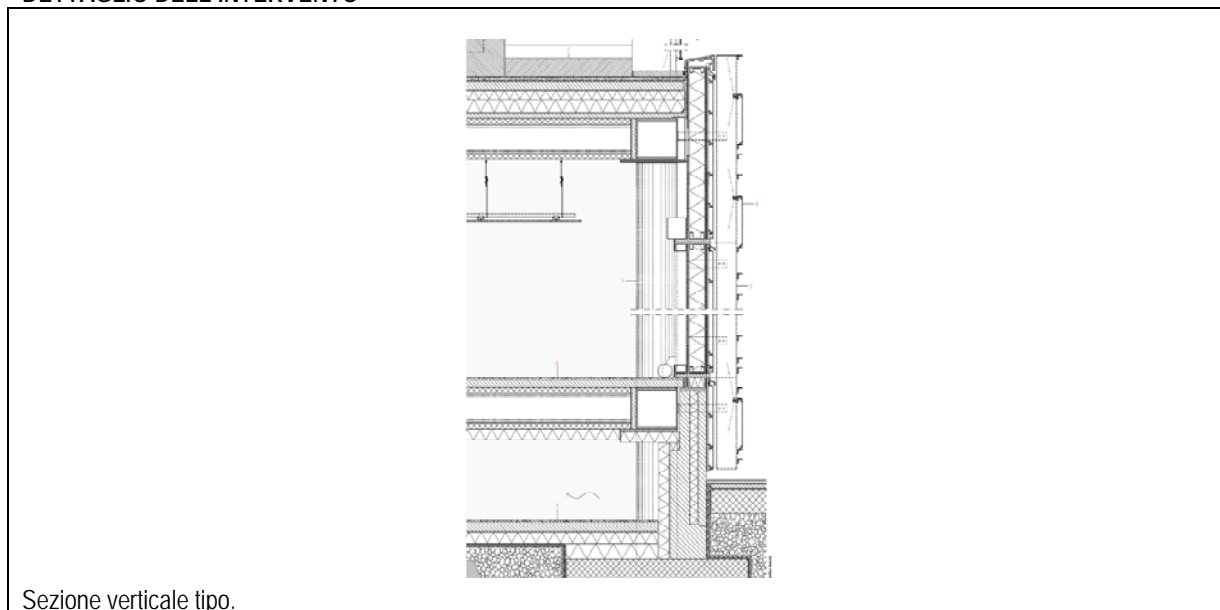
A) Definizione della tipologia di involucro

L'involucro esterno, che costituisce le facciate e parte della copertura, è realizzato con profili di acciaio che portano pannelli di differenti dimensioni e finiture: elementi scatolari di lamiera metallica di svariate gamme cromatiche, dall'azzurro al grigio e tonalità di verde, con interposto strato isolante di lana minerale, alternati a serramenti trasparenti, alcuni dei quali serigrafati, e schermi solari orizzontali microforati di alluminio. Il risultato è quello di una fitta tessitura che rispecchia realmente e idealmente le increspature del mare, con effetti di profondità dovuti a spessori differenti e alla composizione su piani sfalsati dei differenti



materiali.	
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati</p> <p>La pelle esterna è costituita da elementi scatolari di lamiera metallica di differenti colori, alternati a lastre di vetro serigrafato vincolate mediante traversi di alluminio.</p> <p>La pelle interna invece è costituita da una superficie di pannelli di lamiera metallica di svariate gamme cromatiche, dall'azzurro al grigio e tonalità di verde, con interposto isolamento termico, alternati a serramenti trasparenti.</p>	
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare</p> <p>Sulle facciate sono posti frangisole metallici coincidenti con la pelle esterna dell'edificio.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.ark-l-m.fi, Grecchi, M., Tiainen, J., "Centro marittimo Vellamo a Kotka", *Arketipo*, 34/Giugno 2009, pp. 76-87

Centrum Bavaria Bohemia
Brückner & Brückner
Schönsee, Germania
2004 - 2006



RE



Committente: Stadt Schönsee

Data edificio originario: XVII sec.
Superficie lorda costruita: 565 m²

Descrizione sintetica dell'intervento

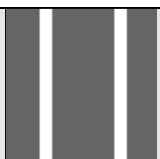
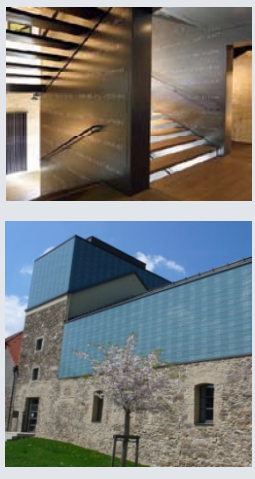
Un piccolo complesso risalente al XVII secolo situato a Schönsee, una cittadina in Baviera al confine con la Boemia, ospita un centro culturale unico nel suo genere: il Centrum Bavaria Bohemia (CeBB), pensato per favorire le relazioni culturali tra Germania e Repubblica Ceca.

Formato da tre eterogenei volumi di pietra, il complesso edilizio era in origine una fabbrica di birra; dismessa da oltre cinquanta anni si presentava, all'atto del recupero, in uno stato di rovina, con il tetto crollato e i muri di pietra prossimi al collasso.

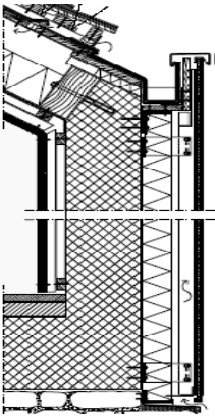
Unitamente ad una accurata operazione di recupero filologico, i progettisti, per rispondere ad esigenze di ricavare nuovi spazi oltre a quelli offerti dalla volumetria originale, hanno sopraelevato l'edificio. Per non snaturare l'originale aspetto, la parte sopraelevata è stata interamente rivestita con lastre di vetro di colore verdognolo. Tali lastre orizzontali, prive di fughe e a giunti sfalsati, appaiono come un moderno proseguimento del muro di pietra. Anche la copertura del nuovo volume è stata rivestita in vetro. Le tegole piatte in vetro speciale richiamano un elemento tipico dei fienili locali, spesso dotati di manti di copertura trasparenti per una migliore illuminazione degli spazi sottotetto, e lo innovano attraverso un sistema di retroilluminazione di fibre ottiche.

Dal punto di vista funzionale, il CeBB è attualmente suddiviso in quattro aree tematiche, cui si aggiunge uno spazio virtuale Internet. L'atrio di ingresso a tripla altezza, il "bb-central", è ospitato nella torre centrale, alta 14 metri, originariamente caratterizzata da una copertura a due falde, è stata sopraelevata e la parte superiore trasformata in una terrazza panoramica. Nell'ala ovest, al piano terra, si trova il "bb-forum" uno spazio polivalente di 150 m² dedicato a esposizioni, concerti e rappresentazioni. Sempre nell'ala ovest, al piano primo, nel sottotetto, è collocato il "bb-dialog", una sala dotata di cabina per le traduzioni simultanee dove è possibile svolgere seminari e workshop. Nell'ala est, invece, al piano primo, si trova il "bb-info" lo spazio informazioni. Infine sfruttando l'occasione del tetto crollato e la necessità di uno spazio aggiuntivo, i progettisti hanno creato in corrispondenza dell'ala est una nuova "scatola" che ospita il "bb-media", area pensata per presentare le diverse sfaccettature della cultura delle due aree confinanti attraverso strumenti multimediali.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro Agendo con la strategia della "scatola nella scatola", all'interno dell'involucro esistente è stato inserito un nuovo volume di calcestruzzo armato, strutturalmente indipendente e ancorato al muro di pietra, "declassato" a puro rivestimento, per mezzo di barre metalliche (5 barre per m² di superficie muraria). Al fine di fornire un piano aggiuntivo funzionale e sfruttando l'assenza della copertura, la scatola di calcestruzzo armato si prolunga in verticale oltre i limiti murari esistenti. Il volume emergente è rivestito di lastre di vetro e caratterizzato da una copertura di tegole anch'esse di vetro. Le lastre di vetro temperato di sicurezza verde, di forma rettangolare allungata 30x150 cm, sono serigrafate per mezzo di un processo di stampa in più fasi con un pattern astratto, con un'immagine raffigurante lastre orizzontali di vetro. Così trattate, esse formano una superficie piana quasi priva di fughe che, con il suo aspetto monolitico, appare come un moderno proseguimento del muro di pietra. Le lastre sono montate a giunti sfalsati su un supporto continuo formato da un pannello costituito da granuli di vetro espanso riciclato abbinati a uno speciale legante, che lo rendono molto leggero e resistente. Il rivestimento e la struttura di supporto, entrambi di vetro, formano un unico pannello sandwich che garantisce, anche in caso di danneggiamento superficiale, la sicurezza anticaduta. La sottostruttura di aggancio dei pannelli alla muratura esistente è parte integrante del sistema: composta da profili di alluminio, consente un fissaggio veloce ed economico che risulta invisibile dall'esterno.</p>	 <p>Opaco su opaco</p>
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati La pelle interna è costituita da pareti di calcestruzzo armato, sp. 250 mm e da intonaco a base di argilla, sp. 20 mm.</p> <p>La pelle esterna, invece, è costituita da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - lastra di vetro temperato di sicurezza serigrafato, 1500x300x6 mm; - lastra portante di granuli di vetro espanso riciclato, sp. 12 mm; - profilo a T di supporto di alluminio con fissaggio invisibile dei pannelli di vetro, 100 mm; - isolamento termico di pannelli di lana di vetro, sp. 100 mm; - sottostruttura a L di alluminio di ancoraggio alla parete portante con interposizione thermostop, 80x140 mm; - griglia di ventilazione microforata. 	
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare Considerato il clima di questa area geografica risulta positivo l'accumulo di calore creato attraverso il sistema vetrato.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO

 <p>Sezione verticale della parte sopraelevata</p>

Fonte: www.bbkult.net, www.architektenbrueckner.de, Malighetti, L., Manev, P., "Muro di vetro", *Arketipo*, 29/Dicembre 2008, pp. 60-71


Cube Hotel Baumschlager Eberle Biberwier,, Austria 2006 - 2007		NC		
--	---	-----------	---	---





Committente: T1 Hotel Errichtungs Gmbh	Superficie lorda: 10.250 m ²
---	--

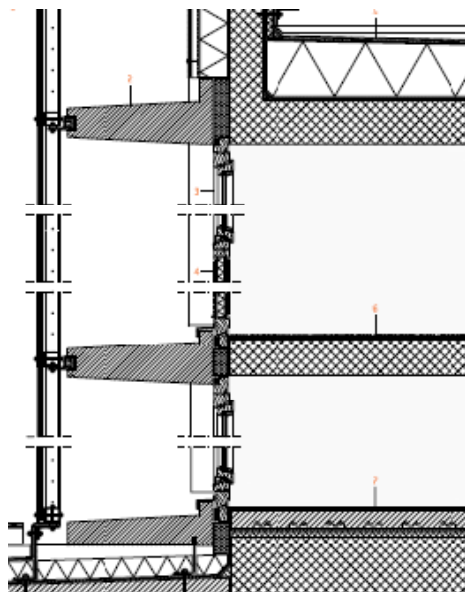
<p>Descrizione sintetica dell'intervento</p> <p>Un hotel che è un po' parcheggio, un po' palestra e un po' ostello; tre piani di rampe per portare biciclette, sci e snowboard direttamente in camera; totale libertà di reinterpretazione individuale degli spazi: sono questi gli elementi di vera novità che rendono il Cube Hotel unico nel suo genere. Questo di Bibrewier-Lermoos è il più recente dei tre hotel che la proprietà ha già realizzato in Austria e in Svizzera.</p> <p>Una scatola di vetro satinato, acciaio e calcestruzzo armato riflette la natura circostante. All'interno un'ampia hall centrale, spazio multi-altezza solcato da una fitta rete di rampe di collegamento verticale fra i diversi livelli. Da terra, infatti, si dipartono scivoli di accesso ai piani superiori che sostituiscono le tradizionali scale; realizzati con lastre prefabbricate di calcestruzzo armato dallo spessore compreso tra i 18 e i 20 cm, consentono di raggiungere le stanze direttamente con le proprie attrezzature sportive. Nel caso si opti per percorrere la "scalata" in bicicletta, il compito non è arduo: la pendenza massima è del 12,7% e la finitura liscia faccia a vista delle lastre ne facilita la percorrenza.</p> <p>L'eventuale inquinamento acustico prodotto da questo grande ambiente frequentato da persone in attività viene attutito dai parapetti vetrati di quattro colori (giallo, azzurro, rosso e verde rispettivamente per le zone a nord, est, sud e ovest) posti a protezione del ballatoio. I parapetti sono realizzati da un doppio vetro colorato fissato alla struttura di calcestruzzo per mezzo di profili di alluminio assemblati a secco che, all'occasione, diventano anche corrimano.</p>
--

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro</p> <p>L'involucro dell'edificio è costituito da una doppia pelle: quella più esterna, con funzione schermante rispetto alla radiazione solare diretta incidente, è realizzata in pannelli rettangolari di vetro antigraffio satinato ed è collocata a 70 cm di distanza da quella più interna. Quest'ultima, che rappresenta la vera chiusura verticale con funzioni termoigrometriche, è essenzialmente costituita da un'anima di calcestruzzo armato sulla quale è stato posato un cappotto isolante. Il tamponamento è realizzato con un sistema modulare (un modulo corrisponde a una stanza d'albergo) costituito da 4 elementi sottomodulari di cui tre vetrati e uno opaco. I tre elementi trasparenti sono costituiti da serramenti, apribili o fissi, di legno di</p>	 <p>Traslucido su trasparente</p>
---	---

<p>larice verniciato con doppio vetro ($U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$). La porzione opaca è costituita da un pannello isolante rivestito, all'esterno, da una lastra di fibrocemento - in grado di proteggere il modulo dalle intemperie e di costituire una finitura esterna resistente - e, all'interno, da un pannello di legno naturale di larice. I ballatoi esterni, che costituiscono l'interfaccia tra i due elementi verticali, sono realizzati con un sistema prefabbricato di calcestruzzo armato, preassemblato in fabbrica, che garantisce il risparmio dei tempi di posa, la razionalizzazione delle armature e la riduzione sostanziale dei costi. Alle testate di questi elementi di calcestruzzo vengono fissati profili di acciaio a L che sostengono i traversi della sottostruttura del rivestimento vetrato. Si tratta, in sostanza, di una maglia composta da profili metallici scatolari imbullonati a formare un reticolo regolare, sulla quale vengono fissati i pannelli esterni di vetro satinato, attraverso morsetti di acciaio galvanizzato e giunti di gomma.</p> <p>Il sistema, nella sua interezza, garantisce una posa in opera veloce e precisa e lascia libertà compositiva ai progettisti: a una maglia regolare corrisponde, in realtà, una disposizione "casuale" dei vetri, in grado di creare giochi di pieni e vuoti che movimentano le superfici dell'edificio..</p>	
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati</p> <p>La pelle interna è costituita da serramenti di legno larice, composti da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - parte fissa: triplo vetro isolante; - parte apribile: vetrocamera stratificato, <p>e da pannelli opachi fissi, composti da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - lastra di fibrocemento, sp. 8 mm; - isolamento; - pannello di legno larice <p>La pelle esterna, invece, è costituita da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pannelli di vetro satinato; - strutture di profili scatolari di alluminio, 80x80 mm, sp. 5 mm; - cavi di acciaio orizzontali; - profili di aggancio di acciaio zincato. 	 
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare</p> <p>La pelle esterna ha anche una funzione schermante rispetto alla radiazione solare diretta.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Sezione verticale della facciata

Fonte: www.cube-hotels.com, Brasca, M., Hueber, E., "Hotel ciclabile", *Arketipo*, 27/Ottobre 2008, pp. 104-115

Edificio della Dogana
Massimo Marazzi e Elio Ostinelli
Chiasso-Brogeda, Svizzera
2002 - 2005



NC



Committente: Amministrazione Federale delle Dogane – AFD
Strutture: Marco Chiesa
Geologo: Paolo Oppizzi

Ingegneri consulenti: Roberto Piona, Diego e Fabrizio Zocchetti
Impianti: Sergio Tami
Superficie lorda: 2.432 m²

Descrizione sintetica dell'intervento

Il progetto nasce dall'esigenza della Direzione delle Dogane di riorganizzare le attività all'interno di un preesistente piazzale, migliorandone la fruibilità e definendo un più preciso rapporto dello stesso con la città di Chiasso.

L'edificio, caratterizzato in pianta da una forma rettangolare allungata - approssimativamente 54x9x16,5 m - si sviluppa in altezza su cinque livelli fuori terra, più un sesto piano destinato agli impianti tecnici.

La struttura portante è definita da un sistema di setti e solette in calcestruzzo, con l'aggiunta di due blocchi scala posti agli estremi dell'edificio. Le risalite, così posizionate, e il corridoio che percorre l'intera facciata orientata a sud rappresentano, a tutti gli effetti, elementi di mediazione climatica tra esterno e interno avvolgendo gli uffici a protezione dall'irraggiamento solare estivo. Tutti gli ambienti lavorativi presentano, quindi, un unico affaccio verso nord giovandosi di una illuminazione naturale di tipo diffuso, evitando rischi di abbagliamento diretto.

Le facciate sono ricoperte da un involucro completamente vetrato, caratterizzato da strutture portanti leggere e composto da lastre di vetro verde con una particolare serigrafia a righe orizzontali. La facciata "interna", diversamente da quanto risulta percepibile dall'esterno, presenta un rapporto opaco/trasparente pari a due terzi.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

A) Definizione della tipologia di involucro

La stratigrafia dell'involucro risponde ai concetti non solo di isolamento, ermeticità e ventilazione controllata, con recupero di calore, ma anche di protezione solare e dimensionamento delle "masse" interne.

La pelle più esterna è costituita dall'alternarsi di fasce vetrate verticali serigrafate che, oltre ad occultare l'involucro opaco, a cui sono fissate, aggettano anche su un'ampia porzione della superficie trasparente contribuendo in modo determinante alla sua schermatura dall'irraggiamento solare, senza però ostacolare la visione diretta verso l'esterno.

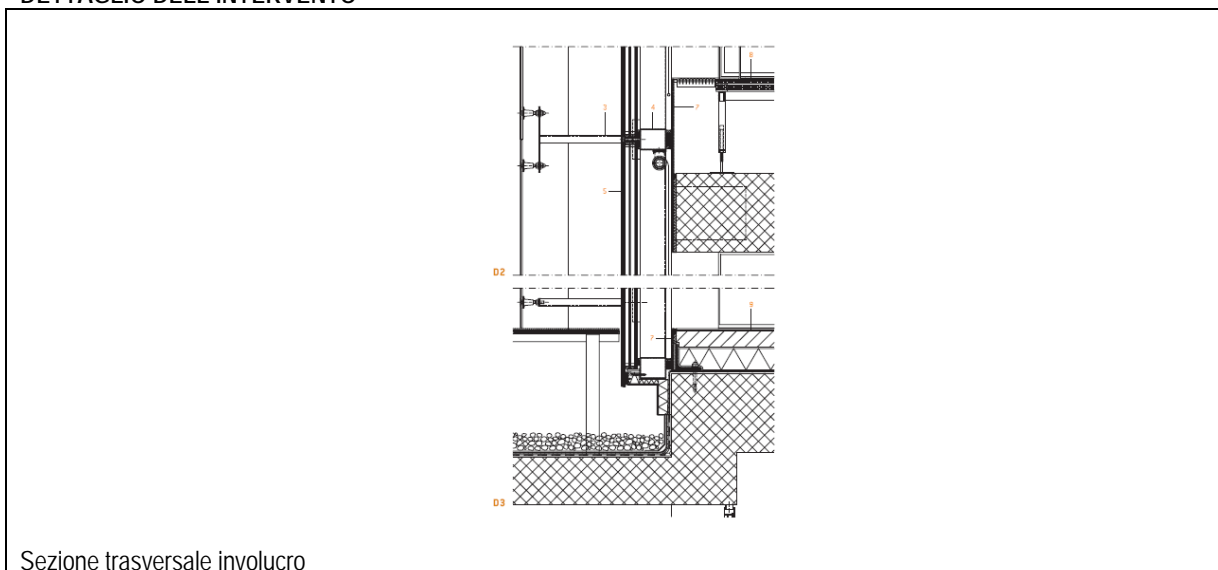
L'involucro vero e proprio, lungo il quale si colloca il perimetro dello spazio climatizzato, è costituito da una facciata continua con profili a taglio termico sulla quale è montato un vetro



Traslucido su trasparente

<p>triplo dalle elevate prestazioni termiche e acustiche. Le porzioni opache della chiusura verticale presentano una stratigrafia simile con l'aggiunta, dall'esterno verso l'interno, di 12 cm di isolamento termico e di 18 cm di calcestruzzo (setto portante) contribuendo in tal modo alla presenza di "masse" interne all'edificio per controllare le variazioni repentine dei carichi termici.</p> <p>La stratigrafia della facciata si completa con lo strato più interno di protezione solare costituito da una tenda avvolgibile, da azionarsi unicamente nei periodi di picco dell'irraggiamento o per il controllo di fenomeni di abbagliamento invernale, al piano primo dove gli uffici prospettano anche sul lato sud.</p>	
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati</p> <p>La pelle esterna, è costituita da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - lastre di vetro Float verde temperato ESG con Head Schock Test, bordo perimetrale molato filo lucido, serigrafato in bianco su faccia 2, sp. 8 mm - tubo di acciaio inox, Ø 30 mm, con elementi di aggancio dello stesso materiale. <p>La pelle interna, invece, è costituita da vetrocamera isolante sp. 53-54 mm composto da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - lastra esterna temperata ESG con Head Schock Test, sp. 6 mm; - intercapedine con gas Argon, sp. 16 mm; - lastra intermedia di Float temperata ESG, sp. 6 mm; - intercapedine con gas Argon, sp. 16 mm; - lastra interna stratificata: Float 4 mm+PVB 0.76 mm+Float basso emissiva 4 mm; - tenda a rullo a caduta verticale 	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.ostinelli.ch, Gattoni, L. P., Introini, M., LEEE-SUPSI/IFEC Consulenze SA "Luce riflessa sulla dogana", *Arketipo*, 5/luglio-agosto 2006, pp. 56-65

Edificio residenziale
 Rafael Moneo
 Sabadell - Barcellona
 2003 - 2005



NC



Committente: Mrp Inmuebles SI

Strutture: Ing. - Gerardo Rodríguez

Descrizione sintetica dell'intervento

L'edificio sorge su di un lotto caratterizzato da una forma irregolare a trapezio allungato in un quartiere residenziale. In corrispondenza della torre dell'orologio vi è la cerniera tra i due blocchi che caratterizzano l'edificio, composto, nella parte più a nord-ovest, da un paramento massivo in laterizio, caratterizzato da forature di dimensioni contenute, e nella parte più a sud-est da un paramento leggero e schermato a tutt'altezza, caratterizzato da grandi superfici vetrate.

L'edificio si sviluppa per lo più per sette piani fuori terra, e, in corrispondenza del corpo più a est, digrada progressivamente di un piano fino a ridimensionarsi a un'altezza di quattro piani fuori terra.

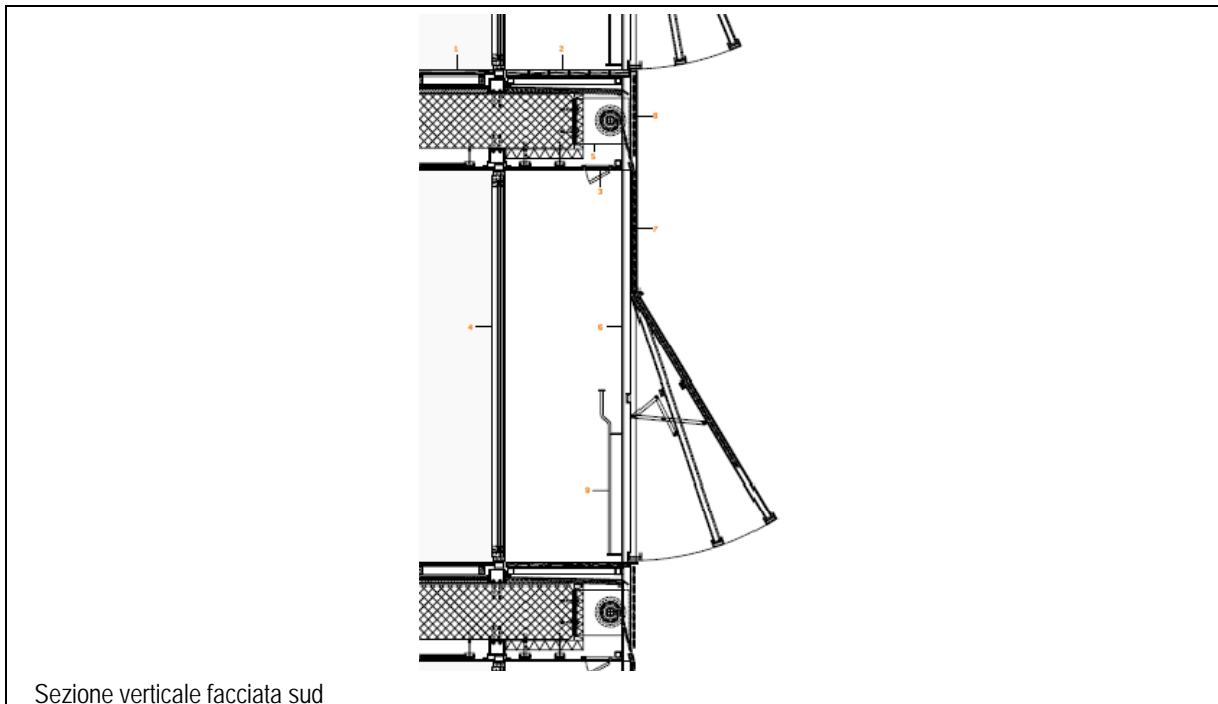
Il piano terra, a destinazione commerciale e terziaria, è prospiciente il viale Tres Creus, una delle arterie viarie più importanti del centro di Sabadell. Il piano tipo è diviso in due alloggi di ampia dimensione per ogni corpo scala.

La distribuzione degli alloggi è fatta su tre diverse fasce: nella fascia più a nord, verso la via pubblica, si affacciano le camere da letto, ed è separata dalla zona giorno per mezzo di una zona destinata a servizi, nella quale si collocano i bagni ciechi. L'ultima fascia è destinata alla zona giorno ed è caratterizzata da spazi flessibili, in contrapposizione a quelli delle due fasce precedenti più rigidamente suddivise.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro Alla massa muraria e alla linearità del fronte nord verso Carre de le Tres Creus si contrappongono trasparenza, leggerezza e il dinamismo del prospetto sud verso la corte interna. Il sistema di oscuramento e di protezione solare reinterpreta un elemento abituale a sporgere, con la novità di averla sviluppata ad altezza interpiano, facendone così un elemento fondamentale del linguaggio dell'involucro. Le persiane avvolgibili e basculanti hanno un telaio di alluminio laccato, 70X50 mm e lamelle di legno di cedro americano.</p>	 <p>Traslucido su trasparente</p>
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati La pelle esterna è composta da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - profilo di acciaio a L di supporto della carpenteria, 80X40mm; - persiana avvolgibile e basculante realizzata con telaio di alluminio, 70X50 mm - lamelle di legno di cedro americano. <p>La pelle interna è composta da chiusura a tamburo e termico con vetrata isolante sp. 6+8+6 mm.</p>	 
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare Il sistema di oscuramento e di protezione solare, relativo esclusivamente alle facciate poste a sud – est, reinterpreta un elemento dell'architettura domestica spagnola, la persiana avvolgibile con telaio a sporgere, con la novità di averla sviluppata ad altezza interpiano, facendone così un elemento fondamentale del linguaggio dell'involucro.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO

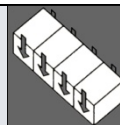


Fonte: www.rafael.moneo.com, Malighetti, L., Malagamba, D., "Severità e dinamismo", *Arketipo*, 23/Maggio 2008, pp.104-117

Fundación Metrópoli
 Angel De Diego Rica
 Madrid, Spagna
 2002 - 2003



NC



Committente: Fundación Metrópoli

Superficie costruita: 1770m²

Descrizione sintetica dell'intervento

La Fundación Metrópoli di Madrid si occupa di innovazione e sostenibilità nel progetto delle città e del territorio. Non a caso la sua nuova sede, chiamata "Ecobox", è un esempio paradigmatico nel quale la forma architettonica trova fondamento nel rapporto con il clima locale, perseguendo la riduzione delle emissioni nocive nell'ambiente.

L'edificio è destinato ad alloggiare spazi per uffici, in un contesto climatico caratterizzato da elevate temperature estive.

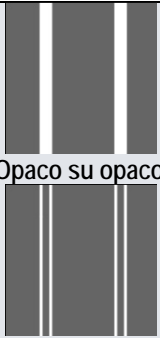


La semplice forma parallelepipedica si articola internamente attorno ad un atrio che taglia completamente il volume, sia in lunghezza che sui tre piani di altezza. Tale atrio rappresenta, tra l'altro, la manifestazione interna dei meccanismi bioclimatici (passivi o a bassa intensità energetica) che presiedono al funzionamento dell'edificio stesso.

In primo luogo, regola l'ingresso della luce naturale, integrando le poche aperture praticate nei muri perimetrali. Queste ultime, infatti, sono state disposte solo dove erano strettamente necessarie per motivi funzionali o per creare relazioni visive con l'esterno e sono, in ogni caso, protette da una seconda pelle esterna di lamelle di alluminio regolate automaticamente in funzione dell'intensità solare. Inoltre l'atrio è dotato di lucernari rivolti verso sud, studiati in modo da consentire l'ingresso della radiazione diretta solo in inverno e schermarla in estate.

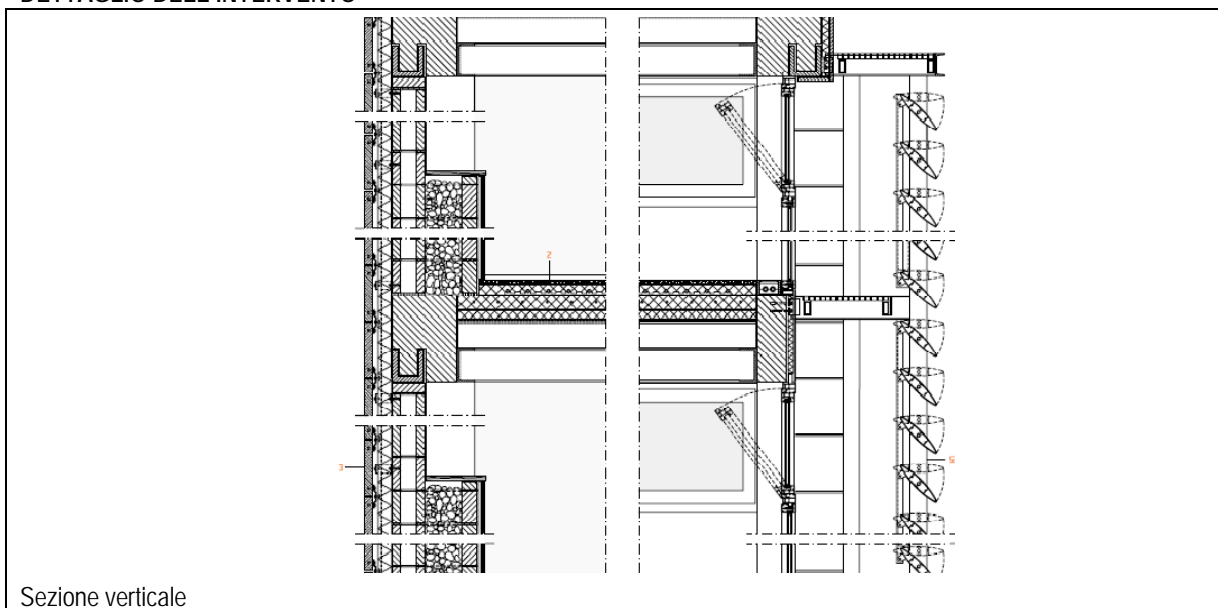
In secondo luogo, si può considerare l'atrio centrale come il "motore" della ventilazione dell'edificio, essenziale per la salubrità dei suoi ambienti. L'apertura dei lucernari in sommità, infatti, attiva, per effetto camino, un moto d'aria ascendente che espelle l'aria viziata proveniente dagli uffici. L'aria fresca viene prelevata dall'esterno tramite appositi camini e, spinta da piccoli ventilatori, percorre un labirinto di calcestruzzo ricavato fra il solaio a terra e il suolo scambiando calore con quest'ultimo. Così pre-riscaldata o pre-raffrescata grazie all'inerzia termica del terreno e della struttura, l'aria viene poi immessa in appositi condotti ricavati nei muri perimetrali, pure dotati di elevata massa: in questo modo gli elementi di involucro, termicamente attivati dall'aria prima che questa venga distribuita negli ambienti, conferiscono grande stabilità termica alla costruzione.

L'efficace comportamento passivo dell'edificio riduce i periodi in cui è richiesta una climatizzazione attiva e limita il carico impiantistico a valori che è possibile coprire quasi interamente con fonti energetiche rinnovabili, quali per esempio i pannelli fotovoltaici che coprono parzialmente il fronte principale.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro L'involucro è costituito da 2 strati di blocchi di calcestruzzo che racchiudono un'intercapedine contenente ghiaia: questo conferisce alle chiusure l'inerzia richiesta per la stabilità termica dell'edificio. L'uso di blocchi cavi permette all'aria di ventilazione di fluire attraverso il muro e di attivare la massa, cedendo o rilasciando calore: la temperatura superficiale interna delle chiusure mitiga così la temperatura operante degli ambienti. Uno strato di isolamento termico collocato dietro la facciata ventilata garantisce che gli scambi di calore avvengano fra la massa termica e gli spazi interni, limitando quelli verso l'esterno. La stessa scelta dei materiali di finitura è volta a favorire gli scambi termici fra gli elementi costruttivi e gli utenti: la tipologia dei rivestimenti è quindi limitata al calcestruzzo lasciato a vista e a pannelli di legno forato permeabili al flusso di calore tra le murature termicamente attive e l'aria interna.</p>	 <p>Opaco su opaco</p> <p>Trasparente su trasparente</p>
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati La parete perimetrale dei piani fuori terra è costituita da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - facciata ventilata: lastre di pietra grigia su sottostruttura metallica; - isolamento termico: lana di roccia idrofuga, sp. 80 mm; - blocco di calcestruzzo cavo intervallato da blocchi simili disposti perpendicolarmente alla facciata per la ventilazione, dim. 190x190x390 mm; - intercapedine riempita di ghiaia, sp. 200 mm; - blocco di calcestruzzo pieno, dim. 90x190x390 mm. <p>Inoltre è presente una porzione di edificio trasparente su trasparente, con pelle esterna vetrata funzionalizzata attraverso l'impiego di pannelli fotovoltaici. La pelle interna invece è costituita da una vetrata con serramento di alluminio a taglio termico.</p> <p>Il rivestimento interno è costituito dal calcestruzzo lasciato a vista e da pannelli di legno forato.</p>	 
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare Vetrata con serramento di alluminio a taglio termico con protezione solare esterna di lame di alluminio a regolazione automatica.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.fundacion-metropoli.org, Masera, G., "Fondazione Metropoli a Madrid", *Arketipo*, 33/Maggio 2009, pp. 68-79


Gneiss Moss Georg W. Reinberg Salisburgo, Austria 2000		NC		
--	---	-----------	---	---



Committente: GSWB – Gemeinnützige Salzburger Wohnbaugesellschaft MbH Strutture: RFG Engineering GmbH	Superficie lorda costruita: 2.575 m ² Superficie alloggi: 47-110 m ² Numero di unità: 61 alloggi simplex e duplex
---	--

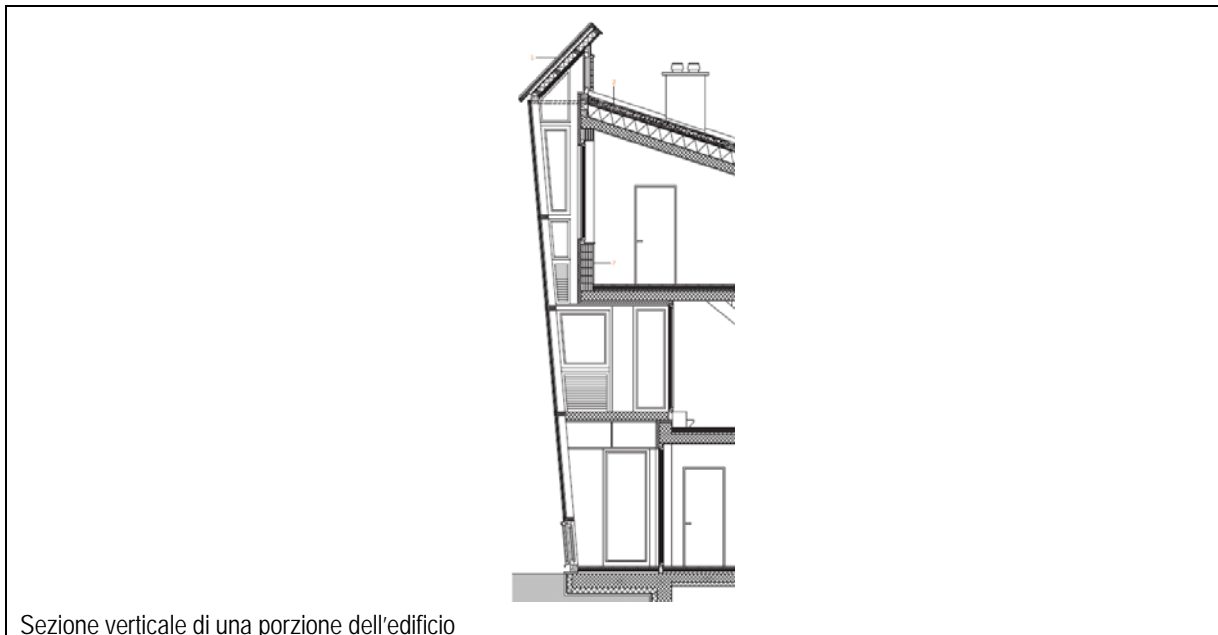
<p>Descrizione sintetica dell'intervento</p> <p>Il complesso di Gneiss Moss sorge alla periferia di Salisburgo su un lotto soleggiato circondato a sud e a ovest da aree verdi non edificabili, in posizione panoramica con vista sulle montagne circostanti.</p> <p>Su un'area di circa 9500 m² sono disposti cinque edifici con orientamento principale a sud, e due edifici a schiera di due piani fuori terra con orientamento principale est-ovest, per un totale di 61 unità abitative di dimensione variabile tra i 47 e i 110m². La distribuzione funzionale degli ambienti è dettata dalla volontà di ottimizzare il guadagno solare passivo e attivo, senza rinunciare alla qualità abitativa degli spazi interni.</p> <p>I corpi di fabbrica rivolti a meridione hanno tipologia in linea e a schiera, altezze variabili da quattro a due piani fuori terra e sono degradanti da nord a sud. Gli edifici sono posti a distanza uno dall'altro tale da impedire ogni possibile reciproco ombreggiamento, anche quando il sole è basso rispetto all'orizzonte.</p> <p>Gli edifici a tre e due piani con affaccio principale a meridione sono ideati per massimizzare lo sfruttamento passivo dell'energia solare attraverso l'uso di ampie superfici vetrate esposte a sud, la realizzazione di giardini d'inverno, l'uso di materiali isolanti ad alte prestazioni e un sistema di ventilazione automatica con recupero di calore. I volumi a doppia altezza delle serre costituiscono non solo il principale sistema passivo di produzione energetica e di ventilazione degli alloggi, ma anche il fondamentale sistema di articolazione volumetrica e compositiva delle facciate.</p>
--

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro</p> <p>Le serre a doppia e tripla altezza con struttura di legno rappresentano il principale sistema passivo di sfruttamento dell'energia solare. Esse svolgono la funzione di "spazio cuscinetto" a protezione degli sbalzi termici durante le stagioni fredde, contribuendo attorno al 23% dell'intero fabbisogno termico. Le alte prestazioni del sistema solare passivo sono ottenute grazie all'impiego di strutture fortemente isolate e dotate di buona capacità termica, alla riduzione delle aperture a nord e all'uso di vetrate isolanti evolute.</p> <p>Le pareti esterne dei diversi edifici sono formate da blocchi cavi di laterizio di 25 cm di spessore con isolamento a cappotto formato da 14 cm di pannelli di sughero con finitura a</p>	 <p>Trasparente su trasparente</p>
---	--

<p>intonaco, mentre i solai di copertura sono realizzati in calcestruzzo armato con isolamento termico formato da 25 cm di polistirene espanso ad alta densità, che permettono il raggiungimento di un buon livello di isolamento termico.</p>	
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati La pelle interna, nella parte opaca è costituita da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - intonaco, sp. 15 mm; - isolamento termico di sughero, sp. 140 mm; - blocchi cavi di laterizio, sp. 250 mm; - intonaco, sp. 10mm, <p>mentre in quella trasparente, sono posizionati serramenti in legno con vetrocamera.</p> <p>La pelle esterna, invece, è costituita da strutture in legno, protette dall'azione degli agenti atmosferici da elementi metallici e da vetrate isolanti evolute con valori di trasmittanza termica U diversi in relazione all'orientamento.</p>	
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare La conformazione dell'edificio "a gradoni" consente lo sfruttamento di porzioni di ciascun piano aggettanti su quello sottostante. Tali elementi proteggono la pelle interna dalla radiazione solare incidente nel periodo estivo, evitando un eccessivo surriscaldamento.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.reinberg.net, Malighetti, L., Hejduk, P., "Una serra in facciata", *Arketipo*, 5/luglio-agosto 2006, pp. 66-77

B) Analisi dei materiali utilizzati

La pelle esterna è costituita da:

- rete di acciaio fissata meccanicamente a correnti metallici verticali;
- pannelli di compensato fenolico, sp. 10 mm, montati a giunti sfalsati e aggettanti rispetto alla muratura sottostante;
- profilati ad omega di sostegno dei pannelli di compensato fenolico intassellati alla parete.

La pelle interna, invece, è costituita da:

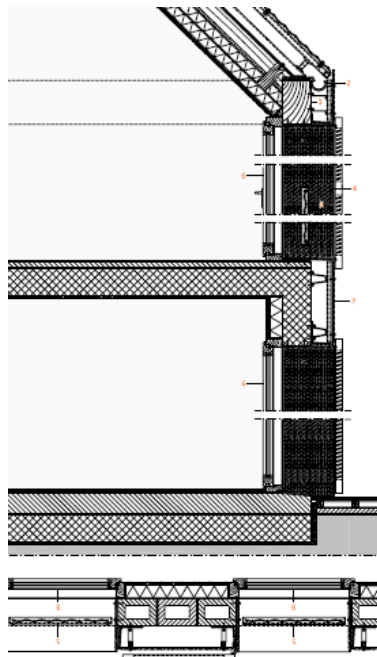
- muratura portante in blocchi di calcestruzzo;
- coibentazione interna composta da pannello in cartongesso e polistirolo.



C) Analisi dei sistemi di protezione solare

La protezione solare è garantita dalla presenza di piante rampicanti che avvolgono l'edificio su tutte le facciate maggiormente esposte ai raggi del sole, tetto compreso

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Sezione verticale

Fonte: www.luispaillard.com, Zambelli, M., Abbadie, H., Boegly, L., F., "Icon House", *Arketipo*, 36/Settembre 2009, pp. 69-67

Istituto scolastico MGM Morales Giles Mariscal Galisteo, Spagna 2006		NC		
---	---	-----------	---	---



Committente: Junta de Extremadura, Consejeria de Educacion, Ciencia y Tecnologia Cosulente tecnico: Javier Salcedo Hernandez	Strutture cemento: Forma Strutture acciaio: Extreinox Strutture legno: Maderas Romero
---	--

Descrizione sintetica dell'intervento

Il progetto dello studio MGM (Morales, Giles, Mariscal) per l'istituto scolastico del ciclo dell'obbligo a Galisteo, nei pressi di Caceres, nella regione spagnola dell'Estremadura, assume come un dato qualitativamente fondativo il leggero declivio del terreno. L'edificio, che comprende un'articolata disponibilità di aule e laboratori su una superficie costruita di circa 4000m², si inserisce completamente nella differenza di quota del terreno, in modo da aprirsi al paesaggio naturale e costruire così una vista importante verso il centro storico urbano.




L'architettura si distende ed allunga fra la leggera differenza di quota. La disposizione planimetrica organizza i due blocchi in linea delle aule, normali e speciali, il nucleo che accoglie gli uffici amministrativi, gli spazi per la docenza e gli spazi tecnici, le strutture sportive e la palestra come elementi funzionalmente separati e connessi da ampie aree a patio.

Questa conformazione planimetrica consente di conservare per i due blocchi di aule condizioni ottimali rispetto all'orientamento solare, operando una protezione sostanziale da rumori e fattori di disturbo reciproco per mezzo dei patii connettivi e delle spesse pareti che accolgono anche gli armadietti a disposizione degli allievi. I corridoi distributivi per i blocchi di aule sono orientati a sud, in diretta relazione con gli spazi a patio, che funzionano come area protetta per lo svago negli intervalli fra le ore di lezione, mentre la parete delle aule che trasmette la luce filtrata dai patii si trova esposta a nord, consentendo ottimali ed in genere equilibrate condizioni di luminosità che non inducono a fenomeni d'abbagliamento. I due corpi edili a stecca per le aule si innestano su un corridoio di collegamento a direzione nord-sud, che si affaccia sull'area dei servizi igienici e degli ambienti tecnici e per deposito. L'area amministrativa, gli spazi di riunione e studio per la docenza si situano al livello superiore. Le attrezzature sportive, la palestra chiusa e il campo polivalente all'aperto si dispongono sul perimetro nord del lotto, in una posizione che ne consente l'utilizzazione in modo svincolato, evitando interferenze del pubblico generico con gli spazi dedicati all'attività scolastica.

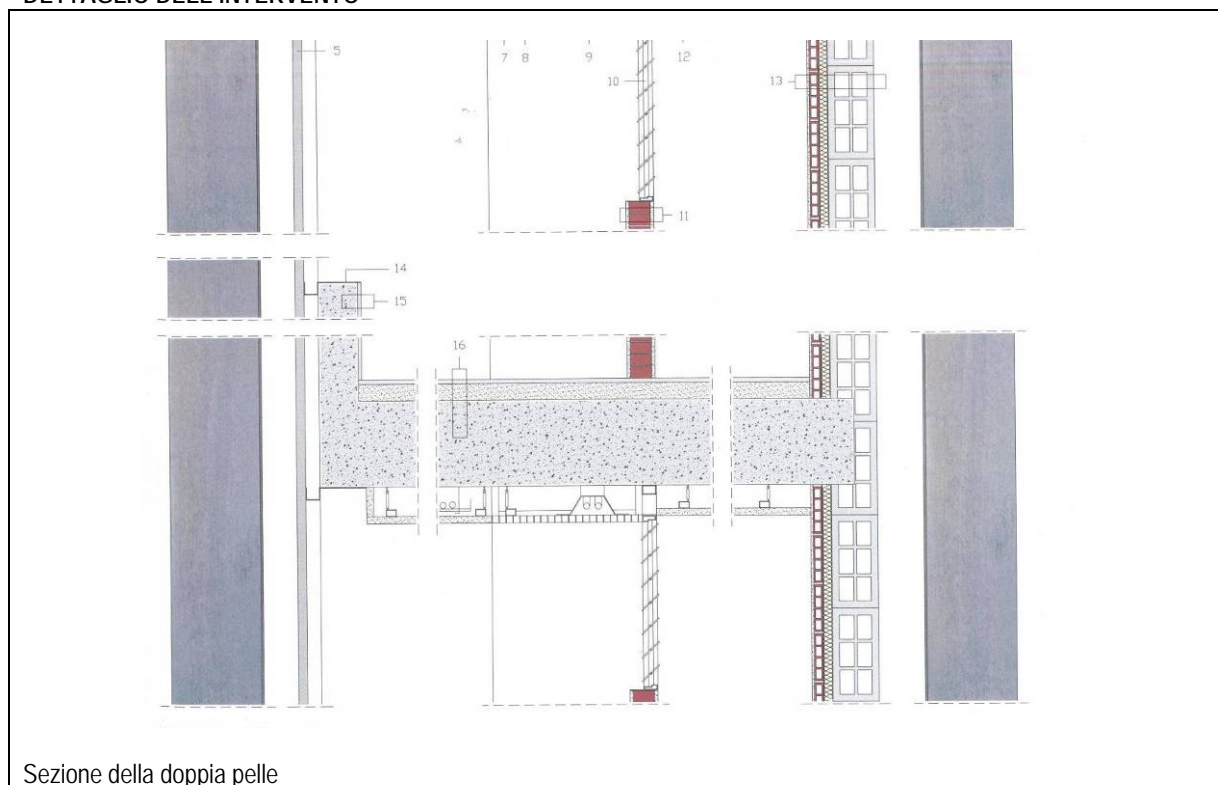
La delimitazione perimetrale dell'istituto, che rappresenta la firma architettonica del progetto, è contrassegnata su uno zoccolo. Questi consentono la visuale sul paesaggio circostante ed al tempo stesso ritmano le facciate.

Il sistema strutturale prevede un procedimento modulare per i significativi risparmi in mano d'opera e tempi di realizzazione, con travi e lastre di cemento armato per le luci ridotte longitudinali alle aule; travi reticolari e lastre alleggerite per luci maggiori.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro Considerata la geometria piuttosto complessa dell'edificio, risulta difficile stabilire in quali orientamenti è applicata la doppia pelle. Perciò per semplicità si definisce applicata a tutti e quattro. Si tratta di una doppia pelle traslucido su opaco.</p>	 Traslucido su opaco
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati <u>Facciate</u> La pelle esterna è costituita da una struttura di rivestimento e finitura in lamelle formate da piatti in acciaio sagomati a Z. La pelle interna è composta in alcune porzioni da pannello da tamponamento formato da pannelli in fibrocemento traslucido sp. 40mm. In altre porzioni è costituita da un pacchetto così composto: rivestimento interno in pannelli di cartongesso lucidato 10mm, tramezzo in mattoni forati 40mm, isolante termico 40mm, blocchi in calcestruzzo prefabbricato 200mm.</p>	 
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare La pelle esterna funge essa stessa come elemento di protezione dai raggi solari incidenti.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.morales-giles-mariscal.com, Pagliari, F., "Istituto scolastico, Galisteo, Spagna", *The Plan*, 022 novembre 2007, pp. 82-95

*John Lewis Centre
Foreign Office Architects
Leicester, Inghilterra
2005 – 2008*



NC



Committente: Shires Gp Limited - Hammerson Plc.
Hermes Plc

Progettista strutturale: Adams Kara Taylor, London
Superficie: 34.000m²

Descrizione sintetica dell'intervento

Il progetto di Farshid Moussavi e Alejandro Zaera-Polo comprende due edifici con destinazioni differenti: i grandi magazzini della catena John Lewis e il cinema multisala De Lux.

Gli architetti si sono ispirati al concetto di "tenda": le facciate dei due edifici appaiono come appese. La "tenda" del John Lewis è fortemente trasparente, realizzata solo con montanti e giunti in silicone, permette agli utenti la vista all'esterno, garantendo, al tempo stesso, la privacy interna. Questo effetto è stato ottenuto grazie alla riproduzione sulle due facciate di vetro di un particolare disegno, che funge anche da schermo per la radiazione solare. Tale disegno è contraddistinto da accentuate volute riprodotte a grande dimensione che ricordano l'attività peculiare della cittadina, famosa per la sua secolare industria tessile. Per rendere il disegno più fluido, sono state realizzate quattro tipologie di immagine – ognuna delle quali occupa due lastre di vetro – che possono essere combinate liberamente tra loro, affiancate e ruotate, ottenendo così un disegno privo di punti di discontinuità. Grazie ad una tecnica innovativa che rende il disegno perfettamente specchiato, la facciata si modifica continuamente durante la giornata e le stagioni, riflettendo immagini con un effetto dinamico.

Il contraltare di questa trasparenza è la facciata del cinema, che ha esigenze opposte di opacità e assenza di luce naturale. In questo caso la facciata è stata realizzata con scaglie di acciaio inossidabile anch'esse specchiate, che sono occasionalmente interrotte da un taglio vetrato, in corrispondenza delle scale mobili di accesso e del foyer.



L'andamento della "tenda" è, in questo caso, frastagliato: caratterizzato da zone a cuneo, che coprono gli spazi impiantistici, intervallate da zone piane, dietro le quali ci sono le sale cinematografiche.

Nell'intervento di Leicester fanno parte anche due passerelle vetrate, di cui la principale, attraversando Vaughan Way, connette il John Lewis con il parcheggio multipiano, coprendo una distanza di 42 metri. Anche tale passerella vetrata risulta un collegamento fluido che trasmette l'idea di leggerezza e trasparenza.

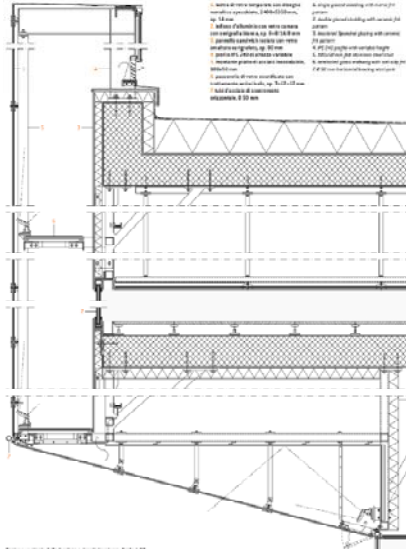
ANALISI DELLA TECNOLOGIA

A) Definizione della tipologia di involucro

Per la facciata a doppio involucro è stato utilizzato per la prima volta un particolare procedimento di tipo elettromagnetico, che avviene sottovuoto e permette di depositare sulla superficie vetrata, in modo preciso, una voluta quantità di ossidi metallici o metalli, come cromo, nichel, ossido di stagno, argento o titanio, portati allo stato gassoso, ottenendo così

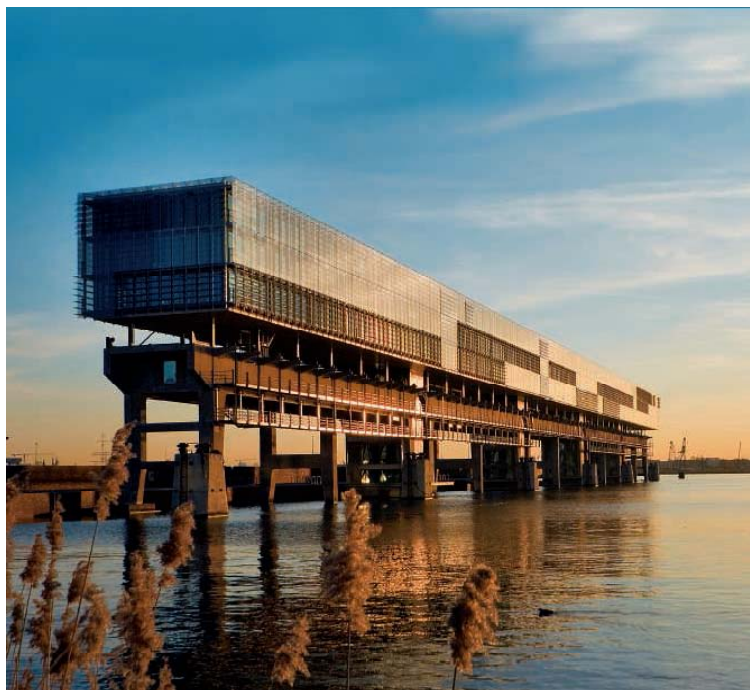
<p>vetri con prestazioni elevate: basso fattore solare e alta trasmissione luminosa, variabili in base alle dosi applicate.</p> <p>L'innovazione introdotta consiste nella possibilità di trattare la superficie solo in alcune zone, riproducendo sulla stessa i disegni più diversi e realizzando zone perfettamente specchiate alternate a zone trasparenti.</p> <p>Il trattamento ha uno spessore infinitesimo, tanto che il metallo sembra integrato alla massa del vetro, è eterno e conferisce un effetto molto diverso rispetto alla tradizionali serigrafie a base ceramica. Sulla lastra si possono poi realizzare le tradizionali lavorazioni di tempera, stratificazione ecc.</p> <p>Per rendere molto trasparente il doppio involucro, è stato scelto di realizzare la pelle esterna utilizzando solo lunghi montanti appesi alla soletta di copertura, senza traversi orizzontali, ai quali fissare le lunghe lastre di vetro col disegno specchiato. I montanti sono controventati tra loro da sottili aste d'acciaio che scorrono alla quota della soletta del primo piano e, all'interno, dalle passerelle di ispezione di acciaio e vetro connesse alla soletta.</p> <p>La pelle interna è più tradizionale, con un'alternanza di pannelli opachi e lastre vetrate sulle quali è riprodotto il medesimo disegno ornamentale serigrafato con la tecnica tradizionale.</p>	 <p>Trasparente su opaco</p>
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati</p> <p>La pelle esterna è costituita da lastre di vetro temperato con disegno metallico specchiato, 2400x5350 mm, sp. 14 mm, sorrette da montanti piatti di acciaio inossidabile, 100x50 mm.</p> <p>La pelle interna invece è costituita da pannelli sandwich isolati rivestiti di vetro smaltato serigrafato, sp. 90 mm.</p> <p>Le aperture sono realizzate con infissi di alluminio con vetro camera con serigrafia bianca, sp. 8+8/14/8 mm.</p> <p>La pelle interna è collegata a quella esterna tramite passerelle di vetro stratificato con trattamento antiscivolo, sp. 3+12+12 mm</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO

 <p>Sezione verticale della facciata a doppio involucro</p>
--

Fonte: www.f-o-a-.net, Ruta, M., AKT, Binet, H., Hufton+Crow, FOA, Mishima, S., Morton, C., Saveski, L., "John Lewis Centre a Leicester", *Arketipo*, 31/Marzo 2009, pp. 72-85

Kraanspoor Oth Amsterdam, Olanda 2006 – 2007		RE		
--	---	-----------	---	---



Committente: Ing Real Estate Development Netherlands, Den Haag	Superficie totale: 12.500m ²
---	--

Descrizione sintetica dell'intervento

Lungo edificio che si eleva all'orizzonte sulla riva nord del fiume IJ a venti minuti dal centro di Amsterdam. È denominato Kraanspoor e sorge sull'area dell'ex cantiere navale NDSM, abbandonato alla metà degli anni '70 in seguito al ridimensionamento dell'industria navale olandese e poi utilizzato come piattaforma di carico e scarico. Circa dieci anni fa l'architetto olandese Trude Hooykaas ha realizzato su questa imponente piattaforma per lo scorrimento delle gru, 10.000 m² di superficie destinati ad uffici: un grande parallelepipedo rettangolare dall'ossatura in acciaio, sospeso a 15 metri di altezza tra acqua e cielo.

Il parallelepipedo di vetro sporge a sbalzo rispetto alla base ed è caratterizzato da una doppia facciata, la cui pelle esterna è formata da lamelle di vetro che possono essere azionate elettricamente, mentre quella interna è composta da finestre con serramenti a tutta altezza con aperture a battente che consentono la ventilazione naturale degli ambienti di lavoro. L'intercapedine che si forma tra le due facciate costituisce un spazio tampone capace di contrastare il freddo nelle stagioni invernali e il caldo in quelle estive.

L'accesso avviene attraverso 4 corpi scala con ascensori panoramici ricavati nei 4 piloni dove erano alloggiati i vecchi collegamenti verticali. Nel cuore della struttura originaria sono stati creati spazi per gli archivi e i depositi. Gli uffici sono, invece, organizzati nel nuovo corpo vetrato, in moduli funzionali di circa 200 m², e sono concepiti come un grande *open space* uniformemente cablato a pavimento. Ogni modulo è servito da un corpo scala indipendente in modo da poterlo vendere o affittare a società diverse.

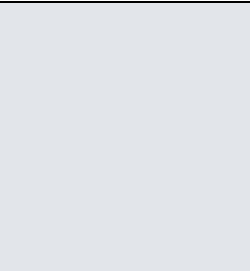

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

A) Definizione della tipologia di involucro

L'involucro a doppia pelle presenta una superficie esterna caratterizzata da lamelle orientabili di vetro, serigrafate per limitare l'abbagliamento dei raggi solari e montate su una struttura di alluminio, azionabile per mezzo di un motore elettrico.

Ogni modulo di facciata è orientabile singolarmente, al fine di consentire la massima flessibilità di regolazione in funzione delle sollecitazioni ambientali. Una seconda superficie di vetro è posta a 60 cm dalla prima ed è realizzata con montanti di legno, ai quali sono fissati serramenti di alluminio a taglio termico con apertura a battente verso l'interno. Le facciate principali sono esposte a nord-ovest e a sud-est e formano 2

Traslucido su trasparente

<p>intercapedini con funzioni diverse a seconda delle stagioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> - durante l'inverno, nella configurazione chiusa, si comportano come uno spazio tampone che limita le dispersioni termiche verso l'esterno; - mentre, nella stagione estiva, la facciata può funzionare come un camino in grado di estrarre l'aria calda dagli uffici, se vengono aperte le lamelle nei piani più alti. <p>Ciascun lavoratore può controllare il microclima interno e attivare la ventilazione trasversale naturale aprendo contemporaneamente le lamelle e le finestre a battente verso l'interno.</p>	
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati</p> <p>La pelle esterna è costituita da lamelle di vetro orientabili con profilati di alluminio comandate elettricamente.</p> <p>La pelle interna è costituita da serramenti di alluminio a taglio termico con vetrocamera antisfondamento, 12/10/8 mm.</p> <p>Nell'intercapedine sono posizionati:</p> <ul style="list-style-type: none"> - profili di acciaio a cui è appeso l'involucro vetrato esterno; - griglie di acciaio per la manutenzione. 	
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare</p> <p>La stessa pelle esterna funge da elemento di protezione contro la radiazione solare diretta</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.oth.nl, Pedrotti, L., de Bruijne, C., Hoekstra, R., "Kraanspoor ad Amsterdam", *Arketipo*, 34/Giugno 2009, pp. 54-65

Kunstmuseum Stuttgart Hascher, Jehle und Assoziierte Gmbh Stoccarda, Germania 1999 - 2004		NC		
---	---	-----------	---	---



Committente: Landeshauptstadt Stuttgart Referat Kultur, Bildung und Sport Technische Referat, Hoch und Tiefbauamt Finanza di progetto: Drees & Sommer Gmbh	Progetto strutture: Werner Sobek Ingenieure Gmbh e Fichtner Bauconsulting Progetto facciata: Ingenieurbüro Brecht
---	--

Descrizione sintetica dell'intervento




La costruzione del Kunstmuseum, il Museo d'arte contemporanea di Stoccarda è stata l'occasione per riqualificare gallerie sotterranee abbandonate, rendendole parte del percorso espositivo, in modo da non dover semplicemente cancellare o dimenticare la struttura esistente, ma lasciare vivo il ricordo della storia urbana locale. Il volume in superficie si presenta come un grosso cubo vitreo, dinamico e mutevole lungo il corso della giornata e con l'alternarsi delle stagioni. Visto da lontano l'edificio occupa lo spazio in modo prepotente, risultando praticamente opaco; i suoi spigoli, che grazie all'utilizzo del vetro risultano taglienti, si protendono verso la piazza, la Schloßplatz; quando ci si avvicina, invece, la facciata diventa trasparente, rivelando il nucleo dell'edificio rivestito da una ruvida pietra naturale.

Le sale per l'esposizione permanente sono collocate nei due piani interrati, che si sviluppano sotto Kleiner Schloßplatz, in quello che era un tunnel stradale, trasformato dai progettisti in uno spazio accogliente e luminoso, anche per la presenza di lucernari creati a livello della piazza soprastante.

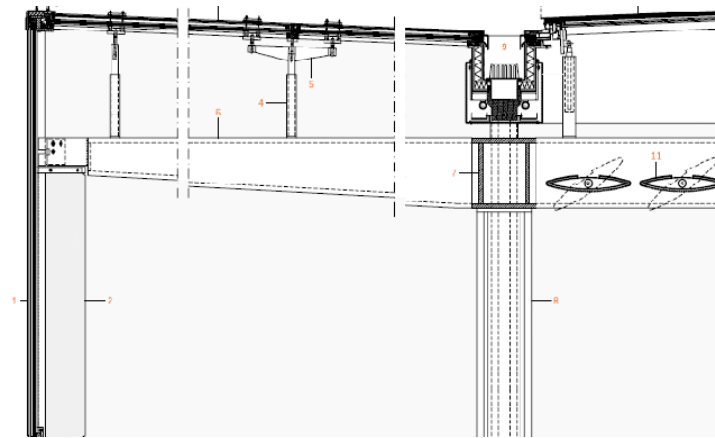
Il cubo, invece, è destinato alle esposizioni temporanee ed è stato pensato in modo tale che le sale siano chiuse all'interno, protette da un muro di pietra calcarea. A queste si accede dal *foyer* di ingresso attraverso ampie scale di acciaio che si arrampicano tra il muro di calcestruzzo armato e la pelle di vetro del cubo. Una volta raggiunto il livello dell'esposizione, le scale diventano passerelle pubbliche che circondano esternamente il muro di pietra. Per visitare i tre piani dell'esposizione, il visitatore è portato continuamente a entrare e uscire dalla "torre".

Il percorso museale si conclude in cima alla "torre" su un'ampia terrazza, protetta dal soffitto del cubo di vetro, dove è stato allestito un ristorante, dal quale è anche possibile ammirare il panorama circostante.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro</p> <p>L'involucro vetrato è costituito da pannelli di vetro di grandi dimensioni (triplo vetro float con intercapedine di argon) 4,10x2,50 m, che raggiungono al piano terra metri 5,54x2,54. In ogni lato dell'edificio sono posizionati 56 pannelli e l'omogeneità della facciata è raggiunta grazie all'uso di guarnizioni sottilissime di silicone che rendono la superficie esterna continua e levigata. La resistenza alla spinta del vento viene garantita grazie a montanti larghi 40 cm, costituiti da 5 lastre di vetro strutturale per uno spessore totale di 60 mm.</p> <p>Per ridurre al minimo gli apporti energetici solari, anche in condizioni di irraggiamento massimo, e per ottimizzare quindi il fattore solare, è stato realizzato un motivo a fasce orizzontali, in diversi toni di grigio chiaro, sul rivestimento della lastra esterna della vetrata. Il fattore solare viene così ridotto al 24% (secondo la norma EN 410), e contribuisce a mantenere un comfort abitativo ideale all'interno del museo. La distanza tra le varie strisce aumenta, per una ragione puramente architettonica, man mano che si sale, fino a scomparire sulla terrazza, riducendo così la protezione solare, ma aumentando il contatto visivo con l'esterno. Inoltre, ad ogni piano, sono stati pensati alcuni vuoti fra i pannelli, in modo da lasciare la possibilità a chi percorre le passerelle, tra la vetrata e la facciata interna di pietra, di vedere il panorama all'esterno. Grazie a programmi di simulazione energetica, è stato verificato che nei due piani più bassi, dove la schermatura solare è maggiore, il valore di trasmissione solare (g-value) della facciata vetrata è passato da 0,34 a 0,16.</p> <p>In cima ai tre piani dell'esposizione temporanea si trova il ristorante. Un sistema di 114 lamelle orientabili garantisce un perfetto ombreggiamento e la possibilità di aprire alcuni pannelli della copertura vetrata crea una leggera ventilazione naturale che porta l'aria surriscaldata verso l'esterno. Le lamelle sono posizionate solo in corrispondenza del ristorante e hanno anche una funzione di fonoassorbimento. Grazie, infatti, alla microforatura della faccia interna, attenuano i rumori della sala, garantendo così un comfort acustico all'interno del ristorante stesso.</p>	 <p>Trasparente su opaco</p>
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati</p> <p>La pelle interna è costituita da una facciata interna di calcestruzzo armato, rivestito da pietra calcarea chiara.</p> <p>La pelle esterna, invece, è costituita da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - vetrocamera di sicurezza composto da vetro temperato extrachiaro, sp. 10 mm, e vetro temperato chiaro, sp. 8 mm, con interposto foglio di PVB; - intercapedine di gas argon, sp. 16 mm; - vetrocamera di sicurezza temperato, sp. 10 mm; - montate di vetro strutturale costituito da cinque lastre, sp. 60 mm 	 
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare</p> <p>Per la descrizione di questi elementi si rimanda alla voce A) "Definizione della tipologia di involucro" della presente scheda.</p>	

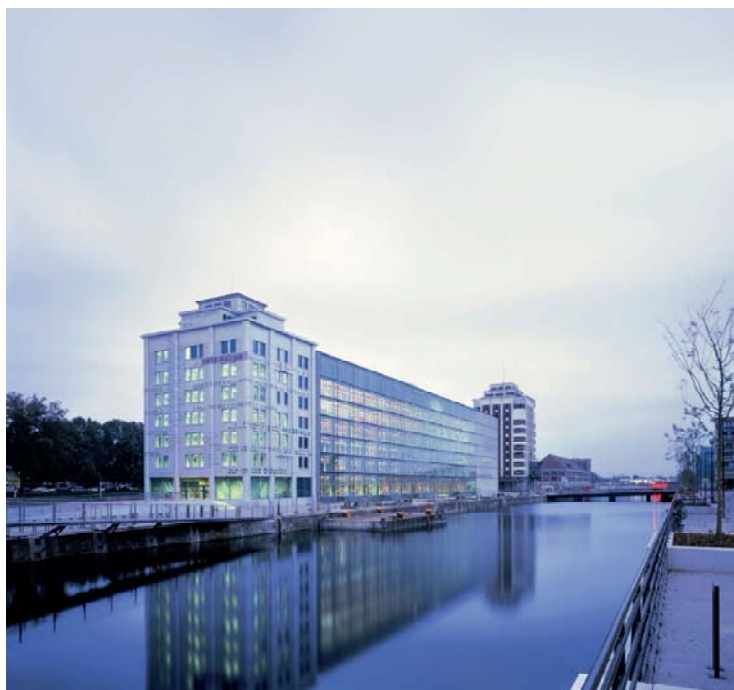
DETTAGLIO DELL'INTERVENTO

 <p>Sezione dell'involucro vetrato</p> <p>Fonte: www.hascherjehle.de, Frontini, F., Halbe, R., "Arte nel tunnel", <i>Arketipo</i>, 18/Novembre 2007, pp. 38-49.</p>
--

Médiathèque André Malraux
Jean-Marc Ibos e Myrto Vitart
Strasbourg, Francia
2006 – 2008



RE



Committente: Urban Community of Strasbourg
Collaboratori: Claudia Trovati (building), Stéphane Bara
Strutture: VP & Green Ingénierie

Impianti: Inex Ingénierie
Acustica: Peutz & Associés
Superficie lorda: 18.000m²

Descrizione sintetica dell'intervento

Si tratta del recupero di uno dei tre edifici industriali costruiti alla fine degli anni '30 sulla penisola artificiale del molo Seegmuller a Strasburgo da adibire a nuova biblioteca centrale. Quello selezionato per essere sede della nuova Médiathèque André Malraux è collocato all'estremità occidentale del molo ed è composto da un volume alto 4 piani, con tetto a capanna, a cui è giustapposto un volume di 8 piani, che guarda verso il centro storico specchiandosi nell'acqua.




Gli architetti Jean-Marc Ibos e Myrto Vitart decidono di conservare intatto soltanto il silos di testata, svuotandone il centro per l'intera altezza, a segnare la solennità dell'atrio. Dell'adiacente magazzino con tetto a capanna rimane, invece, soltanto la struttura di travi e pilastri di calcestruzzo armato inglobata in un volume scatolare di acciaio e vetro alto e lungo il doppio. Simmetrico rispetto al vecchio silos, viene costruito un volume parallelepipedo, dalle facciate grigie e chiuse, che contiene magazzini librari, locali tecnici e di servizio. Quindi sostanzialmente il complesso edilizio è composto da tre corpi: il silos, la parte preesistente dell'edificio longitudinale e l'ampliamento.

All'interno dell'edificio riemerge fortemente l'identità del recente passato industriale, con la struttura e le solette di calcestruzzo armato lasciate a vista e con la trama di travi e pilastri dell'ampliamento che riprendono la struttura preesistente. Tutte le restanti partizioni interne ed esterne sono di vetro, per garantire leggerezza, trasparenza e luminosità.

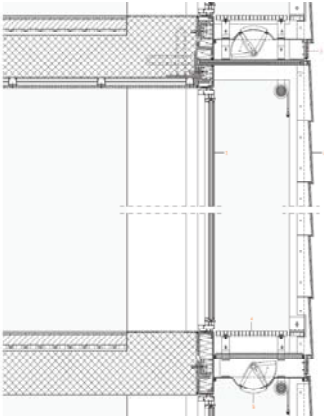
In particolare, le nuove facciate sono composte da una doppia pelle vetrata, con un sistema di termoregolazione di tipo bioclimatico.

La Médiathèque, il cui programma funzionale e biblioteconomico è stato elaborato dalla società di consulenza Café Programmation, si pone come nodo centrale di una rete di 27 biblioteche, ha una superficie di oltre 18.000 m²: circa 1000 posti a sedere; oltre 100 postazioni dotate di pc; 102 bibliotecari. Articolata in 8 dipartimenti estremamente permeabili tra loro e tutti a libero accesso, al momento dell'apertura vi erano 160.000 volumi, oltre a 35.000 cd e dvd, 33.000 libri per bambini e ragazzi, 750 titoli di periodici. Il piano di sviluppo prevede di raggiungere 320.000 volumi nel 2012.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro Facciate vetrate nord e sud Sono concepite con un sistema a doppia pelle con intercapedine ventilata (dimensioni: 90 m di lunghezza x 27 di altezza). Per rispondere alla normativa sismica locale, è stato necessario prevedere sulla facciata alcuni giunti di dilatazione dello spessore di 120 mm. Tale vincolo è diventato elemento caratterizzante della facciata stessa, che risulta scandita da telai vetrati di 6x3,45 m circa (l'altezza dipende dall'altezza del piano). Ciascuno è composto da 6 moduli vetrati larghi 1 m, composti ognuno da scandole orizzontali sovrapposte (in numero variabile da 8 a 13 a seconda dell'altezza del pannello). La vetrata interna, a 675 mm di distanza rispetto a quella esterna, ne riprende la scansione con 6 pannelli verticali con serramenti a taglio termico di alluminio anodizzato, alcuni fissi e altri mobili. L'intercapedine tra le due pelli è interrotta in corrispondenza di ogni marcapiano ed è dotata di dispositivi di ingresso e di uscita dell'aria, regolati elettronicamente in funzione della temperatura raggiunta dall'aria interna. In estate, le bocchette vengono aperte per favorire la ventilazione naturale per effetto camino, mentre, in inverno, sono mantenute chiuse per creare un cuscinetto termico per effetto serra.</p>	 <p>Trasparente su trasparente</p>
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati Facciate vetrate nord e sud La pelle esterna è costituita da: <ul style="list-style-type: none"> - struttura di profili angolari di acciaio inossidabile; - scandole di vetro stratificato extrachiario; - montante di acciaio inossidabile, 100x25 mm; - sistema di oscuramento interno: tenda a rullo. La pelle interna è costituita da infissi di acciaio zincato con telaio di alluminio anodizzato a taglio termico e vetrocamera bassoemissivo. Nell'intercapedine sono posizionate: <ul style="list-style-type: none"> - griglia di ventilazione verticale di alluminio laccato nero; - grata di acciaio zincato, 20x20x30 mm; - saracinesca di ventilazione di estruso di alluminio con guarnizioni di EPDM rivestita con lamiera di alluminio sagomata. </p>	 
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare Una tenda motorizzata, posizionata nell'intercapedine, sulla faccia interna della pelle esterna, garantisce la necessaria protezione contro l'irraggiamento solare diretto.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO

 <p>Sezione verticale lungo la chiusura trasparente</p> <p>Fonte: www.ibosvitart.com, Muscogiuri, M., Fessy, G., Ruault, P., Agence Ibos et Vitart, "Médiathèque André Malraux", <i>Arketipo</i>, 40/Gennaio-Febbraio 2010, pp. 90-101</p>

Ørestad College 3XN Copenhagen, Danimarca 2007		NC		
---	---	-----------	---	---



Committente: Copenhagen City Hall
Consulente formazione: Helle Mathiasen
Consulente acustico: Frederik Wiuff


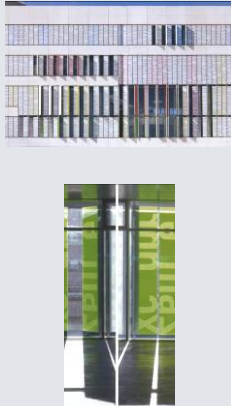
Facciate: Marius Hansen Facader
Strutture: Soren Jensen
Controllo ventilazione: Window Master

Descrizione sintetica dell'intervento

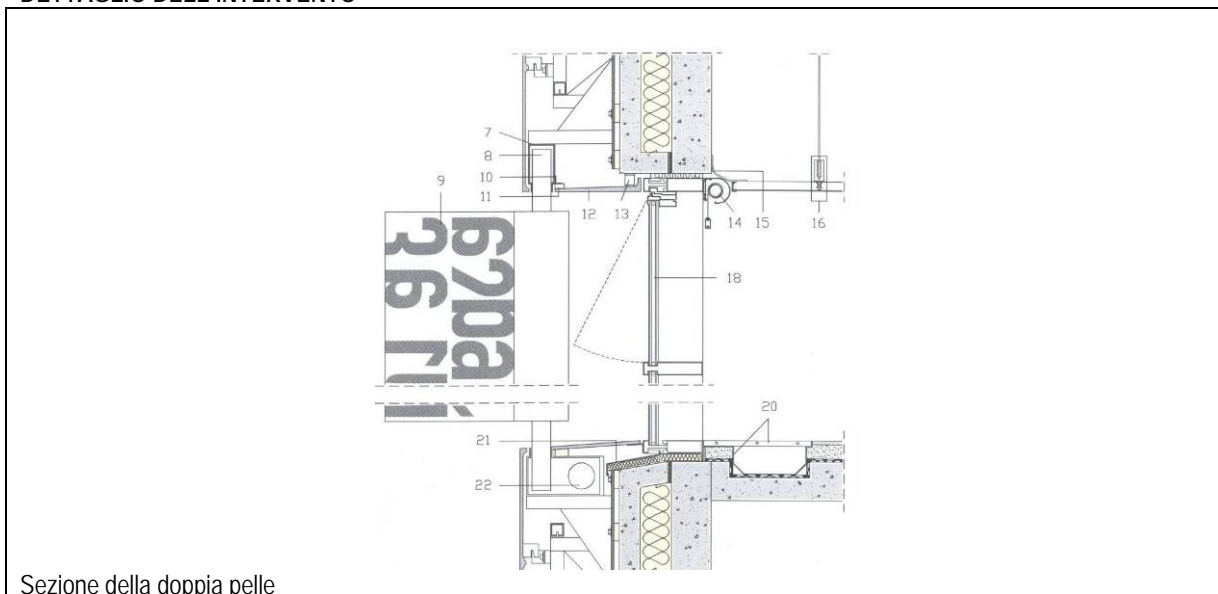
L'Istituto Universitario Ørestad commissionato dal Municipio di Copenhagen è frutto di un concorso d'idee ristretto, vinto dallo studio di architettura 3XN nel 2003. Il progetto corrisponde alla rinnovata concezione dei complessi formativi di livello universitario in Danimarca. Il progetto architettonico inquadra una concreta ed operativa libertà d'aggregazione, offrendo flessibilità all'organizzazione dei contenuti didattici ed educativi.

La struttura è caratterizzata dalla trasparenza dei prospetti, le cui vetrate continue mostrano l'articolazione interna. Le linee delle solette dei piani segnano le facciate e anticipano gli spazi interni, interrompendosi sui volumi a doppia o tripla altezza che movimentano l'edificio. Nodo fondamentale dell'edificio è l'intersezione fra i piani e la grande scala centrale, che si sviluppa secondo una forma a spirale e raggiunge la terrazza in copertura. Nel progetto, i quattro piani superiori si possono visualizzare come superfici a forma di "boomerang" che ruotano l'una in sovrapposizione all'altra sull'asse corrispondente alla scala. In questo modo, spazi e volumi si aprono sull'ampio vuoto centrale, conformando nello stesso tempo una dinamica funzionale e percettiva che distingue gli ambienti per lo studio, le riunioni, l'insegnamento, la lettura, in un'articolazione che utilizza forme, dimensione, qualità, arredi degli spazi come vettori comunicativi. Ogni piano costituisce un'area integrata di studio, attrezzata per l'apprendimento interdisciplinare, mentre i servizi comuni generali come palestra e biblioteca si trovano al piano interrato. Le strutture cilindriche ospitano all'interno scale accessorie di collegamento a tutti i piani. La relazione fra spazi aperti e chiusi, per distinte aree funzionali, è accompagnata da variazioni di materiali: sezioni di pavimento in magnesite si accostano al legno per l'accesso alla scala centrale in continuità con i gradini. I volumi cilindrici a "isola" per studio o riunione presentano pareti con spesso isolamento, scorrevoli e rivestite da pannelli microforati, per agevolare fruizioni differenziate.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro I prospetti Nord-Est e Sud-Ovest sono costituiti da due differenti fasce di involucri evoluti: in corrispondenza delle parti finestrate si ha una doppia pelle traslucido su trasparente, mentre nelle fasce interpiano una involucro opaco su opaco. Le lamelle verticali in vetro colorato traslucido esterne, che costituiscono la prima tipologia di involucro, fungono da brise-soleil a movimentazione meccanica, introducendo all'interno fasce di mutevole percezione cromatica.</p>	 <p>Opaco su opaco</p> <p>Traslucido su opaco</p>
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati <u>Facciata Nord-Est e Sud-Ovest</u> Nella fascia opaco su opaco la pelle esterna è costituita da un rivestimento in pannelli di fibrocemento 12mm. Nella fascia traslucido su trasparente è invece composta da lamelle orientabili in vetro colorato e serigrafato 3000X700X16mm.</p> <p>Il pacchetto della pelle interna è composto da pannelli prefabbricati in calcestruzzo, strato isolante 120mm, setto in calcestruzzo armato 150mm nella parte opaco. E' invece costituito da infisso apribile con vetrocamera 6/14/6 nelle parti trasparenti.</p>	
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare La pelle esterna funge essa stessa come elemento di protezione dai raggi solari incidenti.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: Pagliari, F., "Orestad College, Copenhagen, Danimarca", *The Plan*, 022 novembre 2007, pp. 82-95

Pau Claris
Equip Arquitectura Pich-Aguilera
Barcelona, Spagna
 2003



NC



Committente: ICASA
Resp. gruppo: Xavi Milanés / Angel Sendarrubias
Specialisti: Tecnici G3

Arch. tecnico: Marta Olano
Strutture: PGI Group
Energie rinnovabili: IGP Group

Descrizione sintetica dell'intervento

L'edificio è stato concepito non solo come cornice in cui le persone, ma anche coesistono. E' per questo che si è voluto dotare di zone per le relazioni comuni in cui gli inquilini possono incontrarsi e conoscersi a vicenda.

Le lobby di accesso non sono solo il preambolo per gli appartamenti, ma anche un grande luminoso spazio di lavoro come generatore di una centrale bioclimatica per il microclima che contribuisce per ciascuno degli appartamenti al comfort interno per l'aria e la qualità della vita.



Il tetto terrazato è la cornice per le attività comuni del tempo libero, con solarium, piscina e zona verde. Questa configurazione è resa possibile grazie al serbatoio per l'acqua posizionato sul tetto, che raccoglie l'acqua piovana e alimenta la vegetazione di cui sopra senza la necessità di manutenzione, funzionando così come isolamento per il problema di temperature elevate degli appartamenti sottostanti.

I collettori solari termici sono posti sul tetto ed alimentano l'acqua calda di consumo di ogni appartamento. In estate l'acqua calda in eccesso permette di riscaldare la piscina.

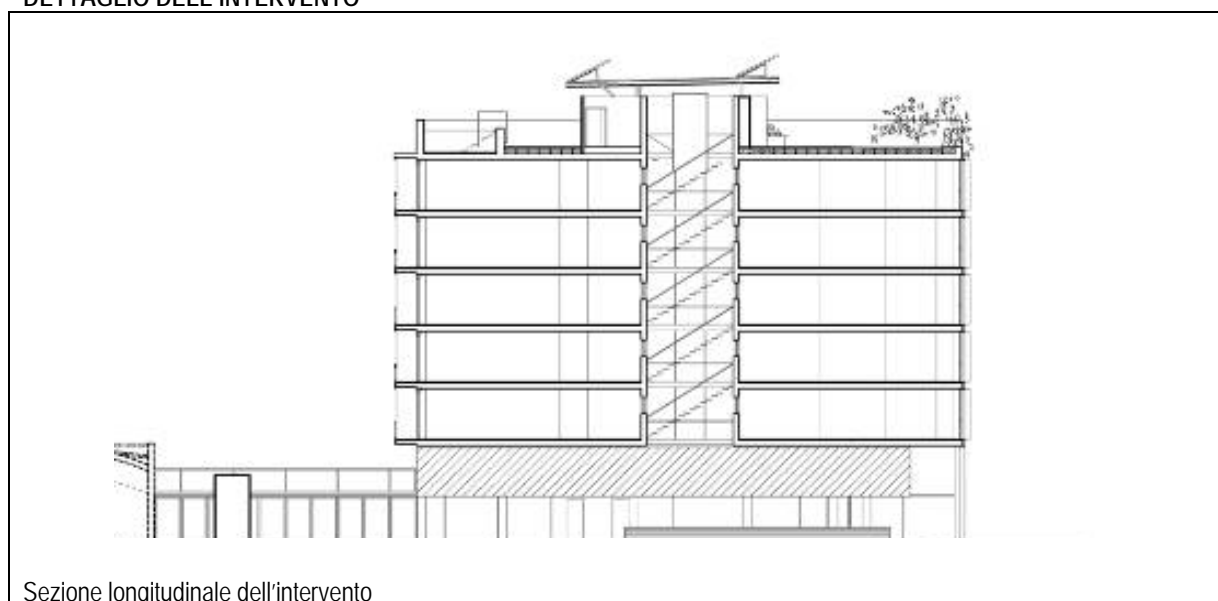
Gli appartamenti hanno una, due o tre camere da letto. Tutti gli spazi sono delimitati da carpenteria e sono connessi con porte scorrevoli. L'obiettivo era quello di creare una zona unificata tra la cucina, il soggiorno e la sala da pranzo per ottenere collegamenti visivi e funzionali tra i diversi settori. La cura per la protezione solare, la possibilità di creare ventilazioni naturali e l'applicazione di concetti bioclimatica negli appartamenti è alla base di queste distribuzioni.

La facciata recupera la texture del Eixample, che evoca la caratteristica di molte facciate in stucco di Barcellona, senza rassegnarsi al suo contesto culturale e tecnologico contemporaneo.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro La facciata Sud è costituita da una doppia pelle appartenente alla famiglia traslucido su trasparente. L'intercapedine interna funge anche e soprattutto come spazio di servizio per allocare logge e balconi continui su tutta la facciata.</p>	 <p>Traslucido su trasparente</p>
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati Facciata Sud Per quanto riguarda la pelle esterna è necessario fare una precisazione, indicando che la traslucenza della stessa in realtà è costituita dalla possibilità di rimuovere anche completamente la pelle in quanto costituita da tende avvolgibili colorate. Inoltre per quanto riguarda la parte di parapetto, quest'ultima è costituita da una lastra di vetro leggermente opacizzato, confermando perciò la definizione di pelle esterna traslucida. La pelle interna è costituita da vetrate in vetro camera isolato, provvista di sistemi avvolgibili di protezione solare a tapparelle.</p>	
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare In questo specifico caso sono previsti due differenti sistemi di protezione solare, uno adiacente alla pelle interna (tapparelle avvolgibili) e uno che coincide con la pelle esterna (tende in materiale plastico anch'esse avvolgibili).</p>	
<p>D) Analisi di sistemi evoluti per la gestione dell'edificio Sono stati seguiti i seguenti criteri energetici e ambientali:</p> <ul style="list-style-type: none"> - progetto finanziato dalla Commissione Europea <i>Programma Altener "estrapolare e studiare l'integrazione di componenti passivi e attivi i sistemi di risparmio energetico nelle zone urbane"</i>; - l'uso del patio di ventilazione come grande spazio semi-pubblico con la vegetazione, una galleria del vento che il canale artificiale per i venti prevalenti crea un microclima adeguato; - stoccaggio selettivo dei residui domestici; - uso di materiali sostenibili e riciclati; - analisi dei costi di fabbricazione e il posizionamento di uno studio del risparmio energetico negli edifici; - ventilazione trasversale nelle varie tipologie di appartamenti; - progetto delle due facciate in base al proprio orientamento per garantire profitti o perdite termiche in base al periodo dell'anno; - il tetto verde con un serbatoio di acqua, che raccoglie l'acqua piovana, funge da isolamento, rigenera l'aria ambientale e rende possibile il riutilizzo delle acque. 	
<p>E) Analisi delle tecnologie per il recupero dell'energia solare Energia solare termica. Posizionamento di collettori.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.picharchitects.com

Sede amministrativa WWF -Olanda
 Rau Architects
 Zeist, Olanda
 2003 – 2006



RE



Committente: World Wildlife Fund (WWF), Holland

Superficie lorda: 3.800 m²

Descrizione sintetica dell'intervento

Il World Wildlife Fund (WWF) è una delle più grandi organizzazioni mondiali dedicata alla conservazione e alla salvaguardia della natura e si batte da anni per la riduzione delle emissioni d'anidride carbonica nell'atmosfera, promuovendo l'utilizzo di energie rinnovabili e materie prime bio-compatibili ed eco-sostenibili. Con la realizzazione della sua nuova sede amministrativa olandese, il WWF dimostra come sia possibile, con materiali poveri e tecnologia *low-tech*, realizzare un edificio dove l'uomo possa vivere e lavorare in armonia con la natura. Per chi lo osserva dall'esterno, l'impatto visivo del nuovo elemento è deciso e marcato sia in termini geometrici, in quanto di forma irregolare rispetto ai parallelepipedi esistenti, sia in termini funzionali, in quanto gli viene attribuito il ruolo principale. Di fatto la nuova struttura è un unico grande spazio dove ogni ambiente: l'ingresso, la reception, lo spazio esposizione e gli uffici d'accoglienza si affacciano sul vuoto centrale a tutt'altezza in comunicazione diretta, ma con la possibilità di essere delimitati da pareti completamente trasparenti. Ma non solo, l'intento progettuale è espresso anche dalla scelta di rivestire l'intero corpo centrale con mattonelle ceramiche tinte, prodotte su misura, dall'effetto metallizzato. Gli uffici veri e propri, per la maggior parte *open space*, sono collocati nelle ali Est e Ovest del corpo esistente senza modificarne sostanzialmente la forma, ma rinnovandone completamente le facciate. Così, attraverso la realizzazione di tamponamenti interamente vetrati, in parte trasparenti e in parte opachi, scanditi da strutture a telai di legno di pino dell'Oregon, si è voluto aprire completamente lo spazio interno alla natura circostante. Per le scelte impiantistiche e tecnologiche l'edificio di Zeist rappresenta un sistema energetico autosufficiente con l'85% del fabbisogno annuale di energia per la climatizzazione, recuperato passivamente dall'energia prodotta dalla presenza umana e dall'uso delle attrezzature all'interno dell'edificio stesso, attraverso un sistema di accumulo del calore in una rete capillare di tubazioni integrata nell'intonaco di argilla nei soffitti.




ANALISI DELLA TECNOLOGIA

A) Definizione della tipologia di involucro

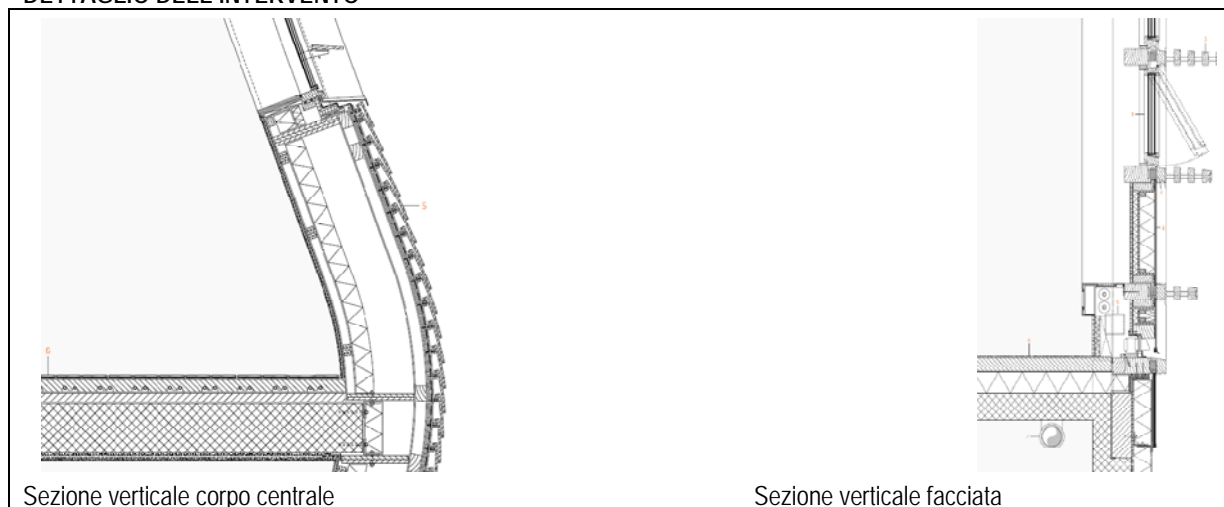
Il corpo centrale. All'esterno della nuova struttura sono applicati listelli orizzontali di sostegno del rivestimento ceramico, con un sottostante strato impermeabile. Il rivestimento esterno è costituito da mattonelle di ceramica cotta tinta, prodotte utilizzando l'argilla estratta dagli estuari dei fiumi olandesi. La miscela di più colori a effetto metallizzato ha garantito una buona resa estetica. Alcuni elementi del rivestimento, poi, sono stati prodotti con cavità speciali per poter ospitare i nidi degli uccelli e le tane dei pipistrelli che vivono nella foresta. L'interno è composto da un sistema costruttivo a secco multistrato, appartenente alla tipologia di involucri leggeri.



Opaco su opaco

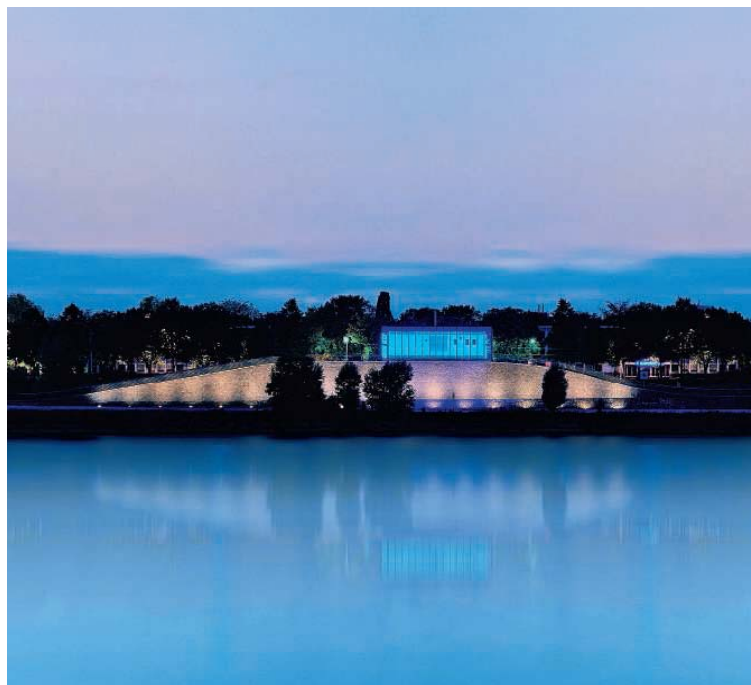
<p>Le facciate esistenti sono state completamente sostituite da una pelle continua di vetro e legno. Scandendo regolarmente con una maglia rettangolare tutti i prospetti, il nuovo sistema, costituito da telai di legno di pino dell'Oregon certificato e vetri tripli a doppia camera basso-emissivi, si distacca completamente dalla struttura interna. Ciò ha permesso di inserire serramenti apribili in qualunque punto si desiderasse, senza interrompere il ritmo della facciata e consentendo anche l'installazione, lungo il lato sud dell'edificio, di sistemi fissi per la schermatura solare. Questi ultimi, disposti lungo i correnti dell'intelaiatura, sono realizzati con elementi orizzontali continui di legno di profondità variabile, secondo l'angolo di incidenza solare da schermare, e fissati su supporti metallici. Le porzioni opache, realizzate in corrispondenza dell'intersezione con le strutture portanti orizzontali, sono di vetro stratificato opaco color grigio, spessore 6 mm, a rivestimento di un tamponamento realizzato con foglio di legno multistrato MDF e pannelli isolanti (spessore 11 cm). Nella porzione inferiore delle facciate di ogni piano, un sistema di aperture consente di prelevare aria dall'esterno e di immetterla negli ambienti interni previo riscaldamento. Questo consente di mantenere costante la temperatura dell'aria nell'immediata vicinanza delle porzioni vetrate riducendo le dispersioni ed evitando le condense.</p>	 <p>Traslucido su trasparente</p>
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati <u>Il corpo centrale</u> La pelle esterna è costituita da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - mattonelle ceramiche di argilla fissate su listelli orizzontali di legno, 24x32 mm; - guaina impermeabile, 150 g/m²; - doppio foglio di multistrato, sp. 9 mm; - traversi di legno massello, 71x96 mm. <p>La pelle interna invece è costituita da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - isolante, sp. 120 mm; - traversi e montanti di legno lamellare, 40x59 mm; - barriera al vapore; - intonaco di argilla armato e finitura a stucco. <p>Tra la pelle interna e quella esterna è presente un'intercapedine d'aria di 240 mm di spessore.</p> <p><u>Le facciate esistenti</u> La pelle esterna è costituita da frangisole: listoni orizzontali di legno massello fissati all'intelaiatura di legno della facciata con profili di acciaio inossidabile. La pelle interna, nelle porzioni opache, è composta da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - vetro esterno opaco color grigio, sp. 5 mm; - isolante, sp. 95 mm; - barriera al vapore; - isolante, sp. 25 mm; - pannello di MDF microforato tinte con vernici a base di pigmenti naturali, mentre nelle porzioni trasparenti è costituita da serramenti con telaio di legno di pino, 76x140 mm, e vetri tripli a doppia camera basso-emissivi. 	 
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare Nel solo lato sud sono stati posti in opera, in corrispondenza dei telai delle vetrate, piccoli elementi frangisole a sbalzo, di legno di pino, per permettere al sole invernale, basso sull'orizzonte, di entrare direttamente e per ostacolare l'ingresso dei suoi raggi in estate, quando il loro angolo d'incidenza diventa maggiore.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.rau.nl, Formenti, E., Richters, C., Lebbe, H., Rau, Architects, "Impatto zero", *Arketipo*, 24/Giugno 2008, pp. 54-67

Stazione di pompaggio Kaspar Kraemer Architekten BDA Colonia, Germania 2005 - 2008				
--	---	--	---	---



Committente: Cologne Town	Superficie netta costruita: 795 m ²
----------------------------------	---

Descrizione sintetica dell'intervento

La stazione di pompaggio Schönhauser Straße, collocata alla sommità di un terrapieno artificiale, si caratterizza come un enigmatico blocco, nel quale a prima vista non si riconoscono aperture, opportunamente mimetizzate dalla modularità della maglia metallica che lo riveste. In realtà il blocco emergente è solo una parte del complesso e sofisticato impianto tecnico, in gran parte interrato di questa stazione, che garantisce che il flusso delle acque reflue e dell'acqua piovana di Colonia sia incanalato nel fiume, anche in caso di piena del Reno, evitando intasamenti e tracimazioni della rete fognaria.

L'edificio si articola, pertanto, in due nuclei solidali, ma distinti per immagine e per funzione: uno ipogeo, su due livelli, con le macchine di pompaggio e uno emergente, distribuito in cinque vani con leggere differenze di quota, all'interno del quale sono custoditi gli impianti elettrici e elettrotecnici necessari al funzionamento delle pompe. Le due porzioni dell'edificio sono non solo separate, ma rigidamente isolate dall'esterno e tra di loro, in modo da scongiurare pericolose infiltrazioni di acqua nell'impianto elettrico e nel sistema di pompaggio.

Alla sommità dell'involucro cementizio fuori terra vi sono una serie di lampade led che, oltre a rendere visibile l'edificio, cambiano colore in funzione del livello delle acque del fiume informando, così, i cittadini del livello delle acque del fiume.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

A) Definizione della tipologia di involucro

La veste metallica e apparentemente omogenea della stazione di pompaggio nasconde, in realtà, un nucleo cementizio interno dotato di sistemi di ancoraggio della corazza tanto sofisticati quanto minuziosamente funzionali. Le quattro pareti laterali del volume massivo sono anch'esse rivestite con griglie metalliche poste a distanza di 0,90 m e una fascia ulteriore a pavimento, in modo da formare un'intercapedine accessibile agli addetti alla manutenzione dell'impianto.

Trasparente su opaco

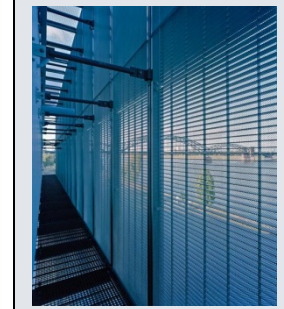
B) Analisi dei materiali utilizzati

Nella realizzazione dell'involucro di questo edificio sono stati impiegati materiali "poveri", comunemente reperibili senza grosse difficoltà: calcestruzzo armato, griglie metalliche intonaci e apparecchiature elettriche non sofisticate. Diversa è la questione per quanto riguarda le strumentazioni elettromeccaniche ed idrauliche che, invece, sono di elevato valore tecnologico. La pelle interna è costituita da una facciata interna di calcestruzzo armato.



La pelle esterna è costituita da

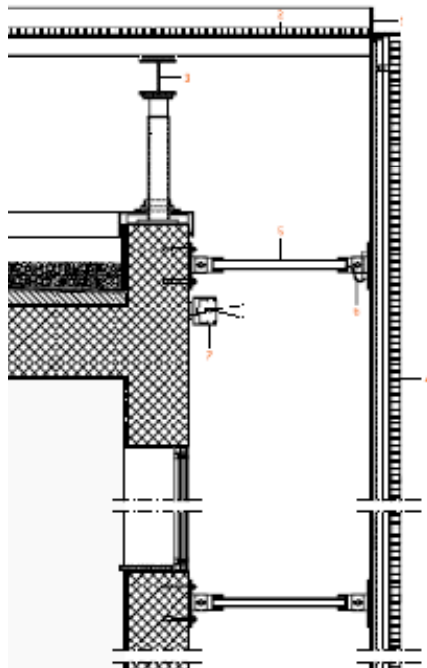
- una griglia di acciaio
- maglia metallica
- profilo IPE 180



C) Analisi dei sistemi di protezione solare

Per la descrizione di questi elementi si rimanda alla voce A) "Definizione della tipologia di involucro" della presente scheda.

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



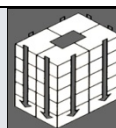
Sezione dell'involucro vetrato

Fonte: www.Kaspar-Kraemer.info Marandola, M., Schilling/Fabpics, S., "Stazione di pompaggio a Colonia", *Arketipo*, 34/Giugno 2009, pp. 88-97

Stadtlagerhaus
Jan Störmer & Partner
Amburgo, Germania
1998 - 2001



RE



Committente: Garbe Bautechnik GmbH
Progetto strutture: Assmann Beraten und Planen GmbH

Impiantistica: Ridder und Meyn
Superficie lorda: 18.000 m²

Descrizione sintetica dell'intervento

Il progetto riguarda un intervento di recupero relativo alla riqualificazione della riva occidentale del fiume Elba ad Amburgo. Lo Stadtlagerhaus, un magazzino annesso ad un silo per lo stoccaggio del grano, costruito nel 1880 viene ripensato nelle destinazioni d'uso e nella definizione delle facciate.

Alla sommità dell'antico magazzino viene costruito un corpo di quattro piani con una doppia pelle di vetro, destinato ad ospitare 28 appartamenti di lusso. La scatola vitrea ricalca esattamente il volume di mattoni sottostante e si imposta a livello del suo cornicione. Sulle facciate esistenti, lungo i lati sud ed est, verso il fiume, vengono giustapposti dei piccoli balconi di acciaio e vetro colorato blu, che concorrono a mitigare l'immagine complessiva del massiccio volume di mattoni. Il silo, "decapitato" della sua ciminiera, viene reinterpretato prendendo ispirazione da un timpano di cui si ha notizia da immagini storiche, con la costruzione di una copertura a due falde alta 12 metri in lastre di rame prepatinato intervallate da ampie fasce di vetro longitudinali.

Infine, poiché lo Stadtlagerhaus rientra nell'elenco delle costruzioni situate in una zona a rischio di acque alte; è stato necessario garantire, in primo luogo, l'accesso e la sicurezza degli utenti nei frequenti periodi in cui il fiume invade il vecchio porto attraverso la costruzione di un leggero ponte d'acciaio, che dal secondo piano del magazzino arriva sul fianco della collina retrostante passando al di là della strada.


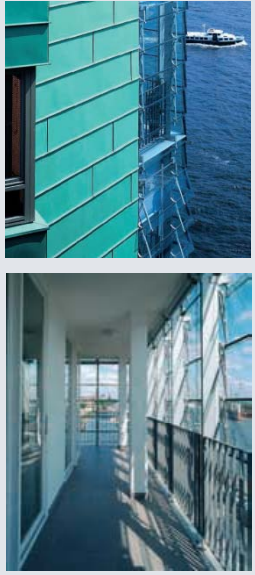
La dislocazione di residenze di lusso al di sopra del magazzino, in un nuovo volume con un doppio involucro vetrato di quattro piani, permette il raggiungimento di elevati standard prestazionali delle abitazioni, sia sul piano del risparmio energetico, sia rispetto alla possibilità di ventilazione naturale degli alloggi. Tale giardino d'inverno, largo 2 metri, che corre lungo tre dei quattro lati del volume aggiunto, costituisce anche un'efficace barriera acustica contro il rumore proveniente dal porto, oltre ad essere uno spazio supplementare all'alloggio fruibile nella maggior parte dell'anno.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

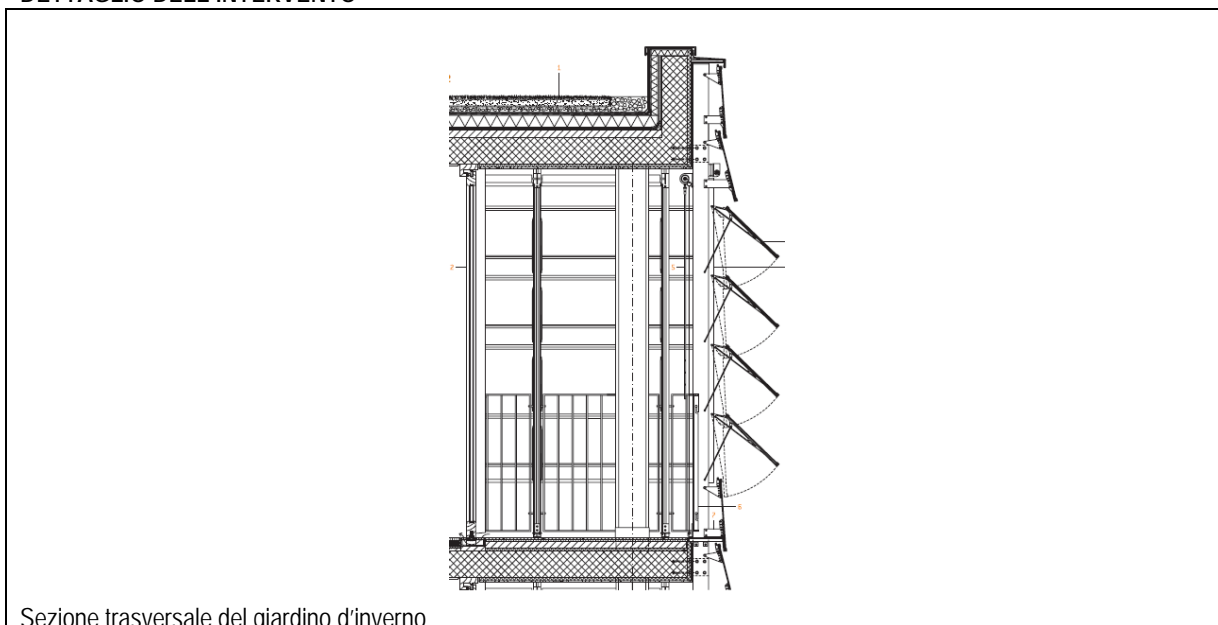
A) Definizione della tipologia di involucro

La costruzione del doppio involucro di vetro, largo 2 metri, consente agli appartamenti di raggiungere elevati standard prestazionali. Particolare attenzione è stata posta alla possibilità di ventilazione naturale degli alloggi. Infatti, grazie all'integrazione del sistema di lamelle esterno con un serramento scorrevole ventilato nell'involucro interno, l'aria fresca entra nei



<p>soggiorni e nelle stanze da letto, che affacciano all'esterno, mentre l'aria viziata viene aspirata nelle cucine e nei servizi igienici disposti nella parte centrale, intorno al nucleo scale/ascensori. La seconda facciata è costituita da un sistema a lamelle in vetrocamera stratificato temperato, senza infisso, sorretto da sottili montanti di acciaio posti a un interasse di 1,5 m; le lastre di vetro raggiungono lunghezze di 4,5 m e sono legate ai montanti tramite un aggancio a morsa, sempre di acciaio. Il sistema, controllato da un dispositivo meccanizzato azionabile dal singolo utente, permette la rotazione libera delle lastre che, da una posizione completamente chiusa, possono raggiungere un'apertura massima di 110 gradi rispetto al piano orizzontale della facciata. Le singole lamelle sono, inoltre, dimensionate in modo da sovrapporsi leggermente le une alle altre quando raggiungono la posizione verticale; questa particolarità, unita alle alte prestazioni acustiche garantite dalla scelta del tipo di vetrocamera stratificato temperato, produce una riduzione del rumore proveniente dall'esterno a meno di 10 dB senza alcun elemento di giunzione longitudinale fra le lastre.</p>	<p>Trasparente su trasparente</p>  <p>Trasparente su opaco</p>
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati</p> <p>La pelle esterna, è costituita da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - lamelle di vetro stratificato orientabili senza infisso composte da 2 vetri temperati, laminati con strato di PVB, sp. 0,76 mm; - montanti verticali di acciaio. <p>La pelle interna, invece, è costituita da serramenti scorrevoli con telai di legno, classe acustica 4.</p> <p>Tra la pelle esterna e quella interna sono posizionati:</p> <ul style="list-style-type: none"> - sistema di ombreggiamento interno; - parapetto di acciaio a profili verticali; - sistema meccanico di movimento. 	
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare</p> <p>La pelle esterna rappresenta anche un sistema di controllo solare.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.stoermer-architekten.de, Gasparetto, F., Stormer, J., KME, Robbers, D., Heissner, O., Helzei, M., "Rame e vetro per il fronte del porto", *Arketipo*, 4/giugno 2006, pp. 40-53

Tribunale Civile

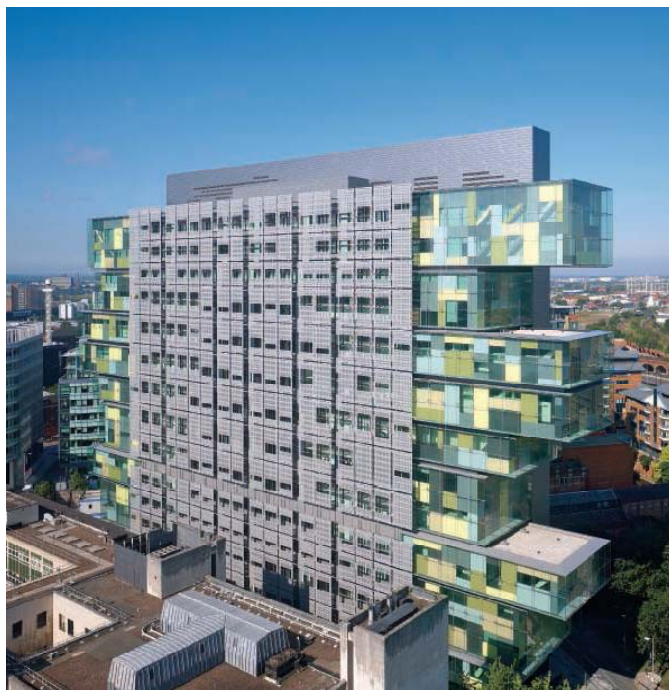
Denton Corker Marshall

Manchester, Inghilterra

2004 - 2007



NC



Committente: Her Majesty's Court Service; Allied London Properties Ltd

Superficie lorda: 34.000 m²

Descrizione sintetica dell'intervento.

L'obiettivo era quello di realizzare un edificio pubblico di grande rilevanza architettonica, particolarmente efficiente dal punto di vista energetico e della fruibilità in rapporto alla sua destinazione. Con una superficie di 34.000 m², distribuita su oltre 15 livelli, il tribunale ospita 47 aule di udienza e 75 sale di consultazione, oltre a uffici e zone di servizio.

È stato concepito come l'aggregazione di sei elementi tecnologici chiave: la doppia pelle vetrata della facciata a ovest, i *pods*, i *public concourse*, ovvero gli spazi pubblici di circolazione e gli atri, la spina opaca, i volumi vetrati e la grande parete schermante *environmental veil*. La doppia pelle vetrata a ovest rivela il grande atrio, che si configura come un vero spazio pubblico, con un bar-café localizzato a piano terra e che si identifica come il fulcro principale dell'edificio, attorno al quale si snodano le diverse funzioni. Sull'atrio si affacciano i *pods*, volumi opachi utilizzati come aree di attesa e di consultazione per le aule d'udienza. La spina centrale opaca funziona da colonna portante e ospita tutti i collegamenti di risalita, i servizi e alcune sale di consultazione. Le aule di giustizia e gli uffici, pensati come scatole chiuse, comunque dotati di luce e ventilazione naturale, sono collocati all'interno dei volumi vetrati che traslano uno rispetto all'altro agli opposti est e ovest. L'ultimo elemento caratterizzante l'edificio è l'*environmental veil*, una grande parete che funziona da brise-soleil, con struttura fissa in grado di regolare l'apporto luminoso negli ambienti interni attraverso un gioco di differenti forature.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

A) Definizione della tipologia di involucro

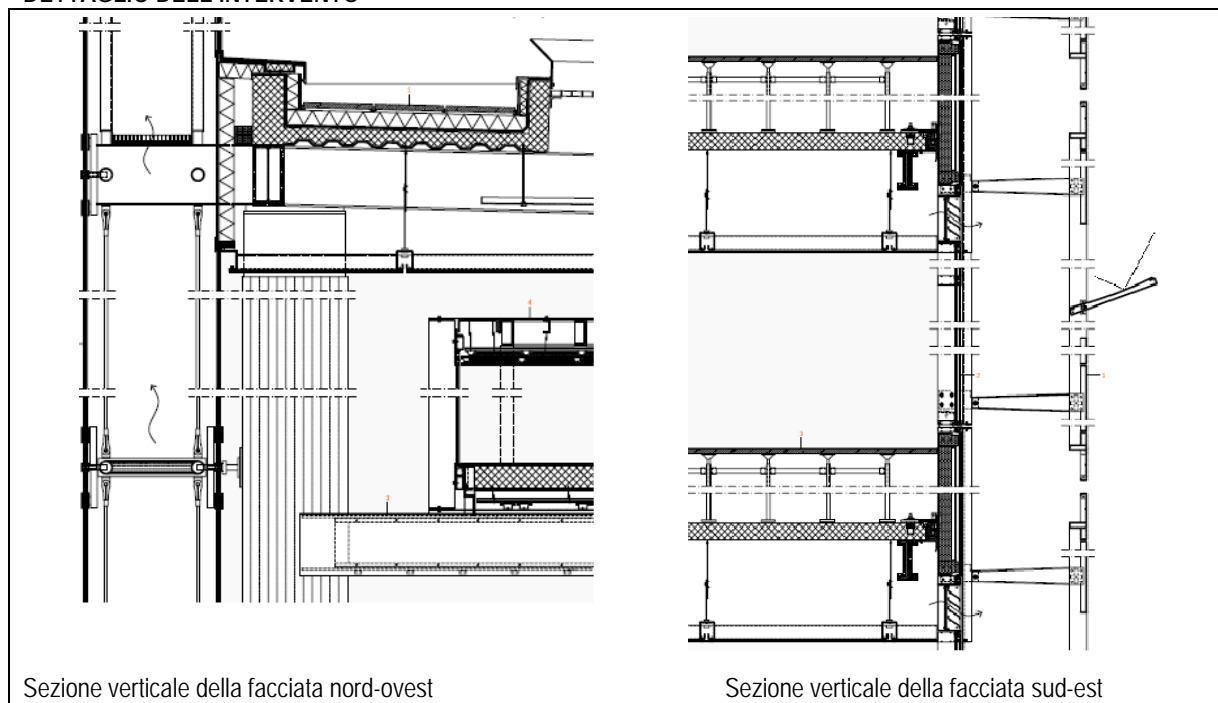
Le facciate sono costituite da materiali differenti in relazione al differente orientamento delle stesse, ragioni che hanno condizionato anche la distribuzione interna dell'edificio. Nella facciate meno soleggiate sono state impiegate vetrate trasparenti a doppia pelle, mentre in quelle più esposte è stato realizzato uno schermo in lamiera di alluminio microforata, capace di garantire, contemporaneamente, l'illuminazione naturale dei locali prospicienti e la schermatura dall'eccesso di irraggiamento solare. Si tratta perciò di due differenti famiglie di involucro, trasparente su opaco (nella parte prospiciente i *pods*) e traslucido su trasparente (*environmental veil*).

Traslucido su trasparente

Trasparente su opaco

<p>B) Analisi dei materiali utilizzati</p> <p><u>Facciata nord-ovest</u></p> <p>La pelle esterna è costituita da una chiusura trasparente ventilata, composta da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pannelli vetrati agganciati con spider e cavi di acciaio; - grigliati metallici di acciaio; - camino di esalazione: bocchette automatizzate con sensori; - struttura portante: travi di acciaio con protezione al fuoco, <p>mentre la pelle interna è costituita dai <i>pods</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> - struttura a scatola di profili di acciaio; - tamponamento opaco: pannelli multistrato di cartongesso con isolante termico e acustico, sp. 200 mm <p><u>Facciata sud-est</u></p> <p>La pelle esterna è costituita dall'<i>environmental veil</i>, composta da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pannelli di alluminio forati; - lamelle di alluminio riflettenti, larghezza 800 mm; - struttura portante di acciaio ancorata a elementi orizzontali, <p>mentre la pelle interna è costituita da una chiusura trasparente, composta da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - struttura portante a montanti e traversi di acciaio; - vetrocamera basso-emissivo. 	
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare</p> <p>L'imponente facciata schermante lungo il fronte est è una grande parete fissa composta da pannelli di alluminio con forature di diverse dimensioni, montate a una distanza di circa 1 m dall'involucro vetrato, in grado di minimizzare il carico termico sulla facciata e controllare contemporaneamente l'apporto luminoso interno, captando e regolando le diverse inclinazioni della radiazione solare su tutto l'arco della giornata e in funzione delle condizioni meteorologiche.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.dentoncorkermarshall.com, Griffith, T., Vivian, A., "Tribunale civile a Manchester", *Arketipo*, 33/Maggio 2009, pp. 81-91

Uffici amministrativi

Barkow Leibinger Architekten
Ditzingen, Germania
2001 – 2003



NC



Committente: Trumpf GmbH & Co

Impianti: Transsolar, Henne & Walter, Horstmann und Berger, Raible + Partner

Facciate: R + R Fuchs

Strutture: Konzett, Bronzini, Gartmann AG, Chur

Paesaggio: Büro Kiefer

Descrizione sintetica dell'intervento

L'edificio si pone principalmente come Landmark per i viaggiatori del vicino traffico autostradale e conferisce un'identità caratterizzante ad un quartiere industriale nato negli anni '70. L'intervento ha permesso anche la creazione di una nuova piazza per l'accoglienza di visitatori e clienti, articolata su più livelli e articolata da canalette di scolo dell'acqua rivestite in acciaio inossidabile. Il piano terra è composto da tre volumi di forma irregolare in cui sono stati inseriti la hall d'ingresso, un auditorium ed uno spazio espositivo per i prodotti dell'azienda. All'ingresso colpisce il rivestimento della parete di fondo composta da tubi rettangolari in acciaio inossidabile tagliati con la speciale tecnologia laser dell'azienda.




L'auditorium, per duecento persone, fornito di cabine per le traduzioni, ha il pavimento formato da pannelli di metallo di color antracite piegati e perforati al laser che nascondono l'impianto di riscaldamento, mentre le pareti sono ritmate da tagli verticali per le aperture verso l'esterno.

Dal volume irregolare del piano terra si staccano due blocchi scatolari paralleli di quattro livelli adibiti ad uffici, sfalsati sia per l'altezza dei piani, sia nella disposizione in pianta. Sono collegati dai corpi scala che giocano quindi un ruolo importante nella connessione architettonica del complesso, divenendo cardine della circolazione interna e luoghi d'interazione, capaci di offrire differenti collegamenti visivi sullo spazio interno ed esterno.

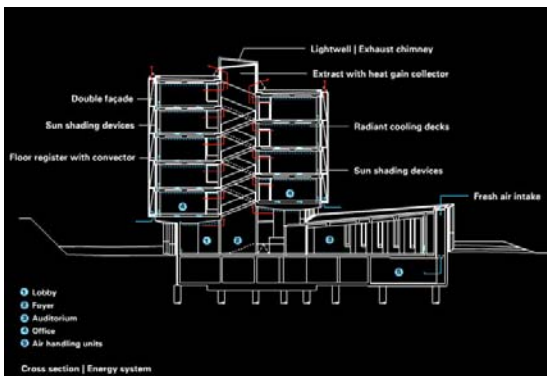
Gli ambienti degli uffici sono aperti per soddisfare la massima flessibilità spaziale ed organizzativa. Solo gli uffici dei manager e le sale riunioni sono separate da pareti vetrate.

Nel progetto si nota l'ottima affinità tra l'industria committente e gli architetti che, sembra, vogliano far lavorare le macchine dell'azienda per disegnare le sagome dello spazio al piano terreno, per poi proseguire il taglio sulla piazza con i solchi delle canalette. L'attacco a terra dell'edificio viene così risolto in maniera costruttivista per inserire in buona posizione rispetto al complesso l'ingombro dell'auditorium ed altri spazi espositivi per la clientela, oltre alla hall di ingresso.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA



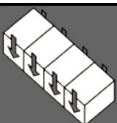
<p>A) Definizione della tipologia di involucro Il particolare sistema di doppia facciata adottato rende possibili diverse funzioni: come zona di isolamento termico impedisce la dispersione dell'aria calda, crea una potente barriera acustica per il rumore dell'autostrada anche quando le finestre interne sono aperte, consente il riparo dal vento per i sistemi di schermatura solare. Conferisce, inoltre, un effetto di trasparenza alla facciata e di leggerezza alla struttura che si moltiplica specialmente la sera. Le facciate Nord e Sud sono trattate nella stessa maniera, con una involucro a doppia pelle vetro – vetro.</p>	 Trasparente su trasparente
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati Facciata Nord e Sud La pelle esterna è costituita un vetro stratificato antinfortuno appesi alla pelle interna tramite un sistema composto da piatti in acciaio, profili di controventatura verniciati e imbullonati alle estremità dei piatti di acciaio e da profili marcapiano in corrispondenza della quota del pavimento finito. La pelle interna è composta da vetri float con struttura in profilati in alluminio, posizionati interpiano con pannello isolante posizionato a protezione dello spessore del solaio per evitare il ponte termico.</p>	 
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare Adiacenti alla pelle interna sono posizionati sistemi frangisole a veneziana a impacchettamento con funzione di deflettore della luce naturale di 100 mm sorretta da apposite lamiere di alluminio anodizzato perforata con funzione fono isolante.</p>	
<p>D) Analisi di sistemi evoluti per la gestione dell'involucro Alla base della doppia pelle sono posizionate tre ventole che collaborano alla ventilazione dovuto per effetto serra ed effetto camino della doppia pelle. Nella sommità e a copertura dell'intercapedine sono posizionate delle lastre vetrate sorrette da tubolari a sezione quadrata, apribili tramite un sistema meccanizzato a vite senza fine. Infine ad ogni interpiano sono posizionate delle griglie per la manutenzione e la pulizia della doppia pelle. La sostenibilità ambientale ed il controllo climatico sono stati sviluppati con la collaborazione della Transsolar Engineering di Stoccarda, impiegata per garantire una temperatura di lavoro ottimale, senza rinunciare alla illuminazione e ventilazione naturale.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO

 Sezione trasversale dell'edificio

Fonte: www.barkowleibinger.com, Cuppini, D., "Uffici Amministrativi – Ditzingen, Germania", *The Plan*, 006 giugno 2004, pp. 36-49

5.2.3 Casi studio nazionali

Casa unifamiliare Studio Archea Leffe, Bergamo 1997 - 1999		NC		
--	---	-----------	---	---



Committente: Privato Progetto strutture: Gianfranco Calderoni	Direzione Lavori: Studio Archea Superficie totale dei piani: 315 m ²
--	--

Descrizione sintetica dell'intervento

L'edificio è situato nel centro storico di Leffe in Val Seriana. Si tratta di un tipico intervento di sostituzione di un fabbricato esistente stretto da due edifici contigui. Il progetto ha previsto la totale demolizione della costruzione preesistente e la completa ricostruzione del nuovo permettendo la realizzazione di un livello interrato da destinare ad autorimessa.

Inoltre le particolari condizioni del sito e le distanze da rispettare nei confronti di un sistema articolato di edifici limitrofi, ha portato alla realizzazione di un fronte molto frastagliato sulla parte principale. Tale facciata posta a stretto contatto con gli altri prospetti finestrati, è immaginata completamente chiusa alla vista, ma attraversata da fasci di luce che penetrano attraverso le fessure della muratura come all'interno di un fienile.

L'edificio si presenta come variazione planimetrica della schiera su lotto gotico, il fronte principale si allarga dai tradizionali 5-6 metri, che caratterizzano l'affaccio panoramico verso la valle, ad una quota di circa 10 metri di larghezza, sull'articolato prospetto anteriore dove è collocato l'accesso all'abitazione. La torre del vano scale risulta quindi occupare il fronte di misura più ampia caratterizzandolo attraverso l'immagine della propria sagoma che viene ad integrarsi e fondersi nel disegno complessivo del fronte stesso.

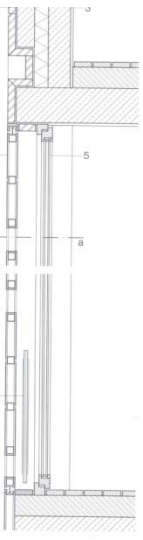
Al piano terra è ubicata la cucina ed il pranzo a doppia altezza, al piano primo la zona giorno, ai piani superiori la zona notte. Il fronte posteriore è caratterizzato da una completa vetratura dello spazio compresso tra gli edifici contigui.

Ciò comporta il posizionamento di una superficie caratterizzata dalla presenza di persiane molto ampia fino ad occupare l'intera area del fronte. Tale sistema di schermatura segue nel disegno, cioè nell'apparato decorativo del fronte, il tema delle bucatore strette e lunghe, che caratterizzano la facciata contrapposta in pietra Santa Fiora.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro La facciata rivolta verso il cortile, appare compatta: il paramento murario di pietra arenaria contrasta con la patina verde del rivestimento di rame ossidato delle ante di acciaio inox delle finestre. Il disegno uniforme delle bucatore segue la trama del rivestimento lapideo. Più simili a feritoie che a finestre vere e proprie proteggono dall'introspezione e creano all'interno un gioco di fasci di luce simile a quello delle tipologie rurali dei fienili. Il fronte posteriore, invece, è caratterizzato da una completa vetratura dello spazio compreso tra gli edifici contigui. Ciò ha comportato lo studio di un sistema di schermature composto da grandi ante metalliche, apribili "a libro", in grado di liberare completamente la visuale verso la valle e al contempo di proteggere l'intera superficie del fronte. Tale paramento mobile, concepito come una sorta di persiana in rame acidato, ripropone il tema delle bucatore strette e lunghe che caratterizzano la facciata contrapposta.</p>	 Traslucido su trasparente
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati La pelle esterna, è costituita da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ante mobili, telaio di acciaio con rivestimento di rame prepatinato; - parapetto di vetro in telaio di rame; <p>La pelle interna, invece, è costituita da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - vetrocamera; - profili di acciaio, zincati. 	
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare I pannelli mobili rivestiti di rame fungono anche da protezione solare.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO

 Sezione verticale
--

Fonte: www.archea.it, www.archinfo.it/casa-di-leffe, Schittich, C. (a cura di), "Casa di abitazione a Leffe", *Detail, Involucri edilizi* pp. 84-85

Centro polifunzionale Dal Negro
Tiziano Bonato
Treviso, Italia
2003 - 2005



NC



Committente: Dal Negro Immobiliare S.r.l.
Direttore artistico: Fabrizio Fontana

Progetto impianti: Massimiliano Bandiera
Superficie lorda: 4.715

Descrizione sintetica dell'intervento

Il centro polifunzionale Dal Negro sorge a ridosso della cinta muraria cinquecentesca di Treviso. Si compone di tre edifici: un silos multipiano per circa 650 posti auto e due edifici per uffici di 4 e 6 piani fuori terra. Nella frizione fra gli edifici vi è una piazza inclinata.

I due fabbricati direzionali presentano una doppia pelle: la prima di chiusura e protezione delle unità, costituita da cellule prefabbricate, formate da un'ampia parte vetrata (apribile in alcuni casi) ed una specchiatura cieca a livello del marcapiano; la seconda, esterna, costituita da frangisole in cotto preassemblati su telai in alluminio, appesi ad una struttura portante in acciaio.

La pelle esterna viene fissata all'edificio tramite mensoloni a sbalzo e bilanciata ai piani da mensole applicate alle cellule stesse, sorreggendo i camminamenti grigliati attorno agli edifici.

Il silos autoparcheggio è mascherato oltre che da frangisole in cotto, analoghi a quelli degli edifici direzionali, anche da profili di alluminio ancorati ad una carpenteria sottostante.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

A) Definizione della tipologia di involucro

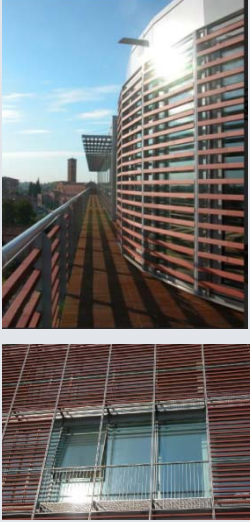
Somec, società leader nel settore della sperimentazione e innovazione degli involucri per architettura ad alto contenuto tecnologico. Tra questi merita attenzione *Avant Grip*, un sistema perfezionato per vetrate a doppia pelle continue, dotate di un'intercapedine che varia da pochi centimetri a spazi ben più significativi. Agibile per eventuali manutenzioni e adatta a superfici curve, *Avant Grip* diventa un involucro di facciata dinamica, in grado di variare i propri parametri di trasmissione di energia termica e luminosa al mutare delle condizioni ambientali e delle esigenze di comfort interne.

Le facciate che caratterizzano l'involucro del Direzionale sono realizzate con il sistema a cellule prefabbricate *Grip 200*, formate da una grande specchiatura trasparente che va da pavimento a soffitto, talune apribili, e da una piccola specchiatura cieca marcapiano.

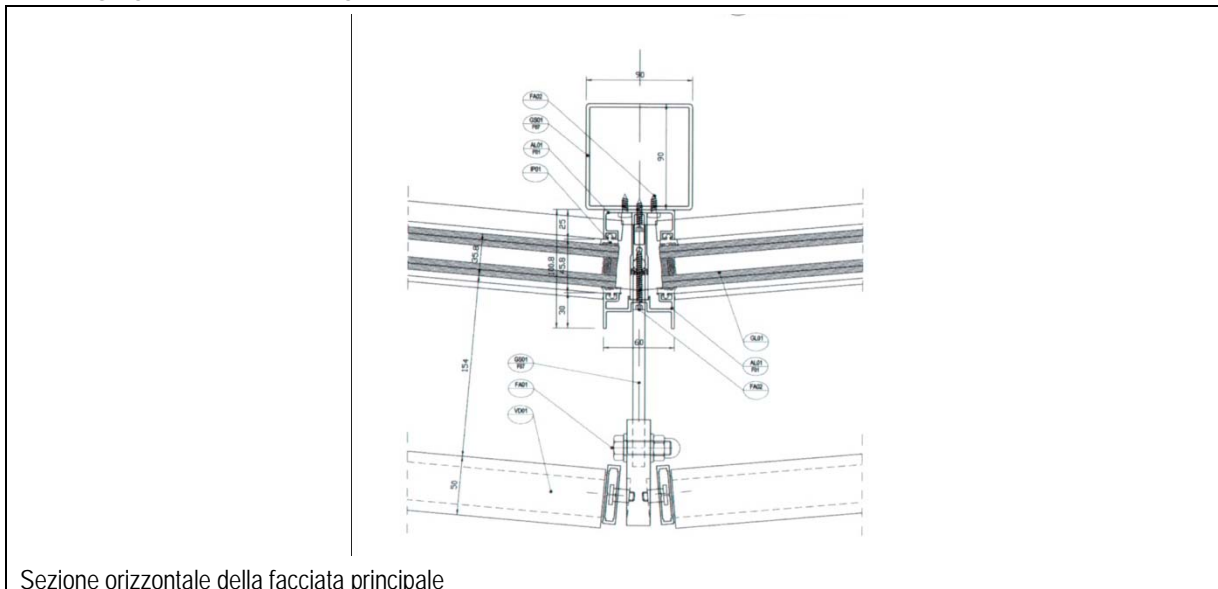
Anteposta alla facciata, c'è una seconda "pelle" costituita da frangisole in cotto fissati su telai in alluminio, a loro volta appesi a una struttura portante in ferro. Oltre al normale rispetto dei parametri di tenuta aria, acqua e vento e di isolamento termico, è stata posta particolare



Traslucido su opaco

<p>attenzione all'isolamento acustico, raggiungendo in opera un $RW=47dB$. Il silos autoparcheggio è costituito da una struttura portante in calcestruzzo mascherata da vari tipi di frangisole: verso la piazza con frangisole in cotto analoghi a quelli degli edifici direzionali; sul lato opposto con doghe orizzontali in profili di alluminio estruso di 40 cm di larghezza, sorrette da una sottostruttura in tubolari di ferro verniciati. L'aspetto più scenografico dell'insieme è stato ottenuto nella sala ovale esaltata dalla trasparenza luminosa realizzata con l'impiego del sistema Somec <i>Grip 140</i>, con tutti i tamponamenti trasparenti, alcuni anche apribili, protetti esternamente da un frangisole in cotto.</p>	
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati La pelle esterna, è costituita da: - schermatura in pannelli con elementi di laterizio; - staffe di ancoraggio per il collegamento delle due pelli.</p> <p>La pelle interna, invece, è costituita da vetrate (come sopra specificato al punto A) "Definizione della tipologia di involucro". Nell'intercapedine, ad ogni interpiano, sono posti grigliati metallici pedonabili per la manutenzione e la pulizia dell'involucro.</p>	
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare I pannelli in laterizio hanno funzione di schermare le facciate vetrate dall'irraggiamento solare.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.studioingegneriabonato.com, www.fabriziofontana.net, Dal Buono, V., Centro direzionale a Treviso", *Costruire in laterizio*, 119 Settembre/Ottobre 2007, pp.20-23

Complesso residenziale Rosenbach
 Klaus Plattner, Baubüro
 Bolzano, Italia
 2002 - 2003



NC



Committente: Cooperativa edilizia Bolzano 1
Progettazione termotecnica: Ema Konzept

Progettazione strutture: Menz & Gritsch Architektbüro
Superficie lorda: 4400 m²

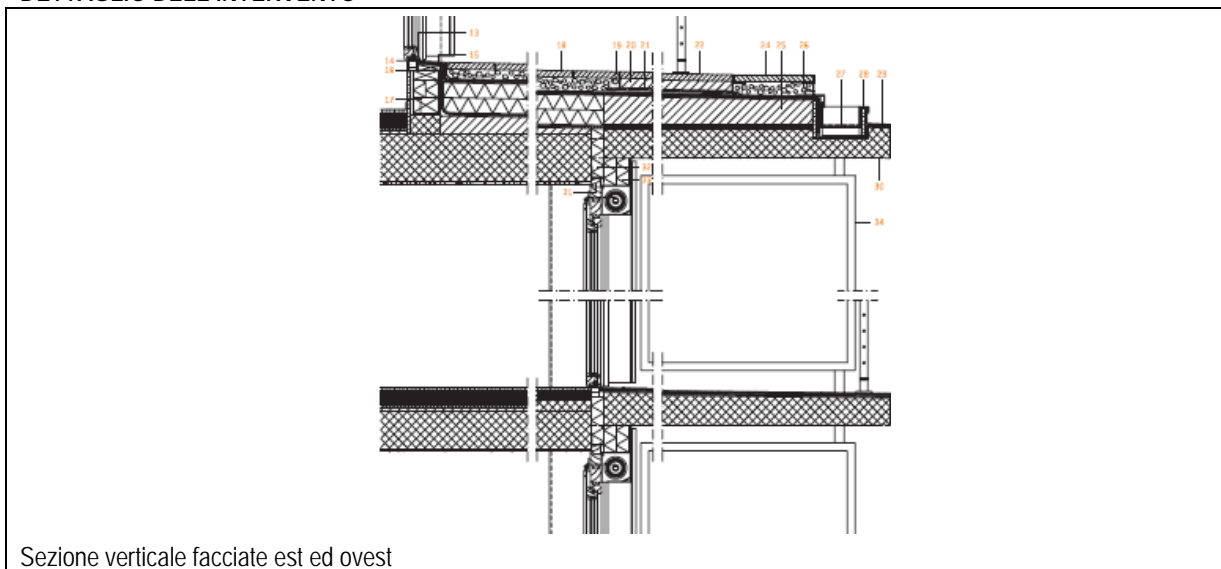
Descrizione sintetica dell'intervento

Il condominio Rosenbach è un edificio di cinque piani fuori terra che si sviluppa in forma articolata attorno ad una corte comune. Il costo energetico di progetto, pari a 30 Kw/mq annuo è stato raggiunto e l'edificio ha ottenuto la certificazione in classe A secondo i parametri di Casa Clima. Questo risultato è particolarmente significativo se si considera che la realizzazione è un edificio plurifamiliare di 64 appartamenti il cui costo finale a mq. fuori terra è del tutto comparabile con i costi di un edificio di pari dimensioni realizzato con tecnologie che non si rifanno all'architettura bioclimatica. In questo intervento è stata posta particolare attenzione al contesto realizzando un edificio dalla forma compatta, che minimizza quanto più possibile le superfici esterne, realizzato con pareti dal forte spessore coibente, evitando i ponti termici, utilizzando vetri basso emissivi, differenziando le caratteristiche formali e tecnologiche delle facciate in ragione della diversa esposizione: a nord-est pareti compatte e con poche aperture di ridotte dimensioni; a sud-ovest terrazzi continui, profondi 1,80 m. che consentono l'irraggiamento diretto delle finestre retrostanti in inverno e che le proteggono dalla calura estiva in estate. Anche gli impianti sono stati progettati in modo da sfruttare, quanto più possibile, le fonti naturali sia ai fini del riscaldamento sia ai fini del raffrescamento, anche se ciò a comportato una progettazione ed una realizzazione degli impianti molto accurata in quanto è stata inserita, prevalentemente nella soletta dei solai, non essendo stato previsto il controsoffitto nelle abitazioni. Le scelte formali e tecnologiche che sono state messe a base di questa realizzazione fanno sì che il costo energetico annuo di un appartamento di 100 mq. sia di circa 160 Euro, decisamente inferiore a quanto normalmente ammonta il costo annuo di un appartamento di pari dimensioni realizzato secondo criteri non bioclimatici. Anche per la costruzione sono state applicate metodologie non ordinarie. Su un telaio portante in cemento armato, dalle caratteristiche comuni, sono stati posti in opera quasi esclusivamente elementi a secco, in gran parte prefabbricati in officina, e questa scelta ha permesso di ridurre, significativamente, anche il fabbisogno energetico del cantiere che è durato, in tutto, 18 mesi.




ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro Dal punto di vista dei materiali, questa costruzione è un progetto che si potrebbe definire "ibrido": la struttura in calcestruzzo armato è completata da chiusure in legno, a loro volta rivestite in vario modo. Il legno viene impiegato per le sue potenzialità di prefabbricazione.</p>	 Traslucido su trasparente
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati La facciata sud ha grandi porzioni vetrate, protette in estate dalla radiazione solare grazie ai balconi aggettanti, con una profondità di ben 1,80m, e raggiunte liberamente dai raggi del basso sole invernale. Gli sbalzi dei balconi, continui sul perimetro dell'edificio, disegnano sul prospetto variazioni di luci e di ombre.</p> <p>La pelle interna è di tipo vetrato ed è composta per lo più da:</p> <ol style="list-style-type: none"> portafinestra con telaio di alluminio-poliamide-legno vetro isolante di sicurezza a 2 strati 4+4/3+3 <p>La pelle esterna invece è composta da:</p> <ol style="list-style-type: none"> soletta aggettate in calcestruzzo armato della profondità di 1,80 m; ringhiera in acciaio di protezione e parete divisoria tra i balconi 	 
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare La protezione solare dell'edificio è garantita dalla considerevole sporgenza dei balconi che, permettono comunque ai raggi solari invernali di giungere fino alla pelle interna.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.baubuero.com, Nezosi, D., Rainer, A., "Sostenibilità costruita a secco", *Arketipo*, 3/maggio 2006, pp. 64-75

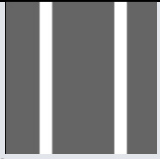


Edificio residenziale Marco Camplani Bergamo, Italia 2005		RE		
--	---	-----------	---	---



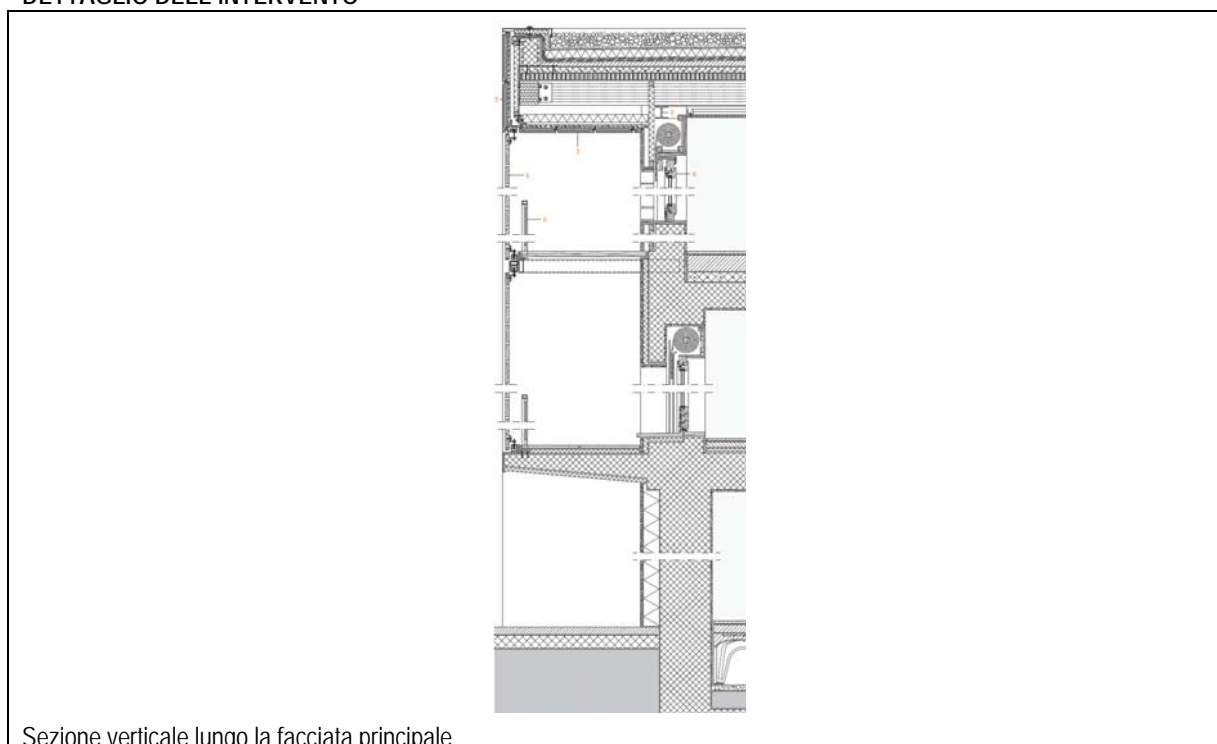
Cliente: Enrico Gamba Superficie lorda di pavimento: 800m ²	Progetto architettonico: Marco Camplani Progetto arredi: Enrico Gamba
---	--

Descrizione sintetica dell'intervento Il progetto di Marco Camplani riguarda il recupero e la rifunzionalizzazione di una abitazione unifamiliare risalente agli anni '50. L'edificio è situato a Bergamo, in via Baioni, un tempo tracciato extraurbano scarsamente trafficato, oggi importante arteria di collegamento della Valle Brembana. I primi due piani del fabbricato, in origine adibiti a residenza e laboratori artigiani, sono stati ristrutturati, apportando lievi modifiche distributive e parziali variazioni alla scansione delle aperture del fronte lungo la via Baioni, finalizzate al riordino del fronte stesso. Si sono ottenuti così: zone dedicate alle attività fitness, una taverna, i vani tecnici e le autorimesse al piano terra; due unità abitative al primo piano e un grande appartamento all'ultimo livello, grazie al recupero del sottotetto. Sulla copertura, inoltre, viene realizzato un vero e proprio giardino, inerbito, piantumato e corredato di un grande barbecue ricavato sul volume extra corsa dell'ascensore. La soluzione compositiva è sottolineata dalle scelte materiche: le superfici esterne dei primi due livelli, coibentate con un cappotto, sono trattate a intonaco bianco e si distinguono cromaticamente dal rivestimento del terzo livello di nuova costruzione, rivestito con doghe di rame preossidato e legno di rovere trattato in essiccatore. La variazione introdotta nel trattamento dei fronti consente di distinguere la struttura originaria anni '50 dall'intervento odierno. La transizione tra le due fasi costruttive dell'edificio viene risolta sul fronte lungo via Baioni attraverso una loggia organizzata su due livelli e divisa orizzontalmente da un diaframma di acciaio e legno, che articola due grandi aperture degli spazi di soggiorno sul primo e il secondo livello.
--




ANALISI DELLA TECNOLOGIA

<p>A) Definizione della tipologia di involucro Facciata principale Il sottotetto e il primo piano si caratterizzano per l'utilizzo di una "pelle tecnologica" di rame che riveste un'intera porzione dell'edificio. Il sistema di rivestimento di rame, irrigidito da pannelli di polistirene e sostenuto da pannelli di compensato fenolico, consente l'utilizzo del principio della facciata ventilata che, grazie alla presenza di una sezione verticale continua, ha la funzione di isolare, ridurre l'umidità interstiziale e scaricare le acque piovane.</p>	 Opaco su opaco
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati Facciata principale La pelle esterna è costituita da doghe ricavate da un laminato di rame sottoposto a un trattamento industriale di preossidazione su entrambi i lati. Tali doghe sono inchiodate su pannelli di compensato fenolico di 20 mm di spessore. La finitura ottenuta - il marrone opaco tipico della prima fase di invecchiamento del materiale - continuerà a evolversi naturalmente, a causa dell'esposizione agli agenti atmosferici, mantenendo le proprie caratteristiche prestazionali. La pelle interna ,invece, è costituita da travetti di sostegno di legno lamellare e isolamento di pannelli di polistirene ad alta densità (40 mm di spessore)</p>	 
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare Sulle facciate sono posti pannelli scorrevoli a doghe di legno di rovere quali elementi schermanti di protezione solare.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.designrepublic.it, Nolesini, F., Santiago, L., "Edificio residenziale a Bergamo", *Arketipo*, 40/Gennaio-Febbraio 2010, pp. 68-77

Edificio unifamiliare Arturo Montanelli – Studio Ardea Desio, Italia 2001 - 2004		NC		
--	---	-----------	---	---



Committente: Privato Collaboratori alla progettazione: Francesco Renzi, Emanuela Amadini, Silvia Ponti, Fabio Tripicchio	Progetto Impianti: Stefano Montanelli Progetto Arredi Fissi: Ezio Riva Superficie lorda: 495 m ²
---	--

Descrizione sintetica dell'intervento

Si tratta dell'intervento di ristrutturazione di un edificio monofamiliare realizzato negli anni '70 a Desio, a pochi chilometri da Milano, in un quartiere residenziale tipico di molti centri urbani della Brianza.

Il tema progettuale ha riguardato sia la ridefinizione formale, sia quella funzionale/tecnologica dell'unità abitativa. Essenzialmente si è trattato di ampliare l'edificio e di elevarlo anche in altezza, condizioni che hanno permesso di rivedere, in maniera determinante, anche tutta la distribuzione interna, giardino, servizi e autorimessa compresi.



Sotto il profilo tecnologico, sono stati rifatti gli impianti, ora il riscaldamento è garantito da pannelli radianti a pavimento, ed è stata data una seconda pelle completamente nuova all'intero edificio. Pelle che ha permesso di riproporre l'edificio secondo una prospettiva formale del tutto nuova e di realizzare gli impianti con un miglior grado di controllo igrotermico.

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

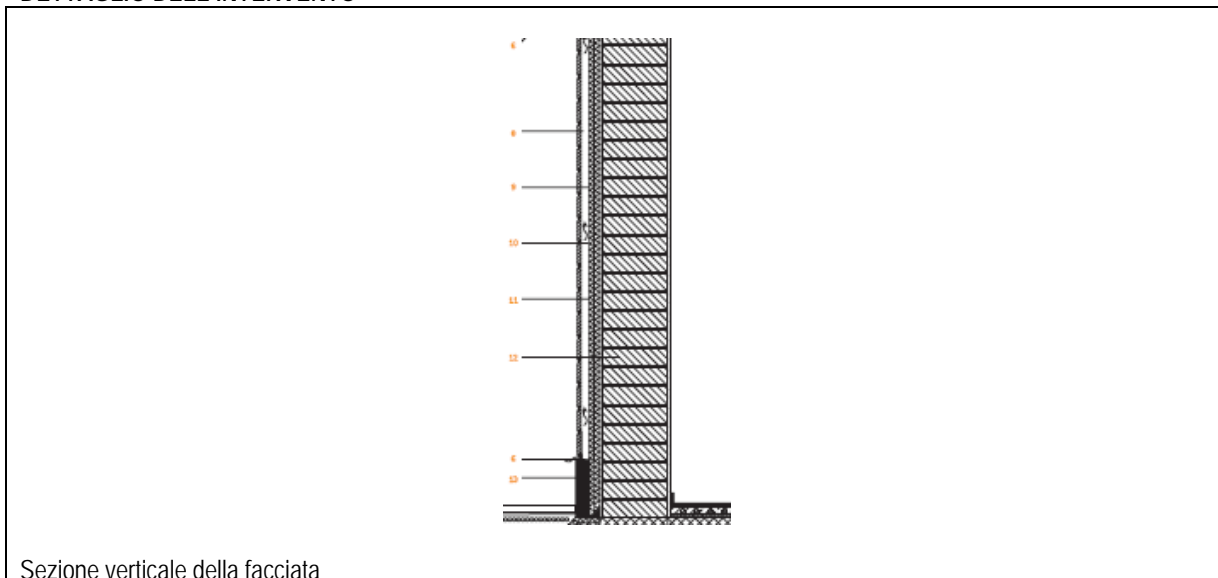
A) Definizione della tipologia di involucro

Fondamentale nella definizione dell'intervento di recupero è stato il progetto della facciata ventilata. Le carenze prestazionali rilevate in fase di progettazione hanno suggerito la necessità di creare un isolamento continuo dei muri esistenti, posizionato sul fronte esterno per garantire continuità ed evitare ponti termici. Per migliorare il controllo igrotermico, il rivestimento è staccato dai pannelli di polistirene espanso ad alta densità di 6 cm di spessore, creando una vera e propria camera d'aria ventilata. Il flusso controllato che si attiva per "effetto camino" è costituito da una lama d'aria che entra nel punto di raccordo tra legno e pietra, attraverso una griglia microforata di rame, ed esce in corrispondenza dell'incontro con la gronda della copertura, attraverso un'analoga griglia di protezione. La scelta dei materiali di rivestimento non è dettata solamente da motivazioni architettoniche: il cedro rosso, posato a doghe orizzontali fresate di circa 14 cm e spessore 2 cm, opportunamente sagomate per realizzare una superficie continua, ha caratteristiche di notevole resistenza agli agenti atmosferici, di compattezza e al tempo stesso di leggerezza, che costituiscono elementi inderogabili per le condizioni climatiche di esposizione. Anche il



<p>rame, scelto per le coperture come materiale più idoneo per le caratteristiche di durata, diviene elemento di raccordo formale e tecnologico tra superfici di gronda, pareti e tetti. Le superfici verticali dei volumi che emergono rispetto al volume preesistente sono rivestite con doghe di rame, opportunamente sagomate di circa 25 cm. Le coperture sono state impostate secondo il medesimo concetto.</p>	
<p>B) Analisi dei materiali utilizzati Le pelle esterna è costituita da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - griglia microforata di ventilazione; - perlinatura orizzontale di cedro rosso, sp. 20 mm; - montanti verticali per il fissaggio della perlinatura attraverso chiodi di acciaio. <p>Le pelle interna, invece, è costituita da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - strato di isolamento termico di polistirene espanso, sp. 40+40 mm; - muratura esistente; - intonaco tinteggiato. <p>Tra la pelle esterna e quella interna si crea una intercapedine ventilata.</p>	
<p>C) Analisi dei sistemi di protezione solare La ristrutturazione dell'edificio ha comportato la realizzazione di nuovi sporti di gronda dallo sviluppo molto accentuato, che costituiscono un'efficace barriera al soleggiamento estivo, senza pregiudicare quello invernale. La notevole dimensione delle aperture rispetto alle parti opache di facciata ha richiesto attente valutazioni nella scelta dei serramenti per garantire il controllo delle temperature interne: telai d'alluminio a taglio termico, vetri a bassa emissività, integrati da avvolgibili di sicurezza che, essendo microforate, regolano l'ingresso della luce all'interno, oltre a garantire la ventilazione nel periodo estivo.</p>	

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.arturomontanelli.com, Grecchi, M., Camocardi, L., Montanelli, S., "La villa cambia pelle", *Archetipo*, 1/marzo 2006, pp. 50-63.

Frener & Reifer Headquarters
BRT Architekten
Bressanone, Italia
2005 - 2008



NC



Committente: Frener & Reifer
Progetto strutture: Studio Bergmeister

Progetto impianto elettrico: Studio Contact
Superficie lorda: 6.649 m²

Descrizione sintetica dell'intervento

Il progetto per la nuova sede a Bressanone dell'azienda di componenti edilizi Frener & Reifer, affidato allo studio amburghese BRT Architekten, definisce compositamente l'identità dell'azienda, specializzata in tecnologie d'avanguardia che implicano acciaio e vetro nei sistemi di facciate continue, a doppio involucro e nei sistemi delle coperture.

Punto focale è l'idea che nella medesima costruzione siano compresi tutte le attività, unificate all'interno dello stesso involucro a facciate vetrate continue. Nell'edificio convivono gli ambienti dedicati alla produzione e la zona per uffici. Al piano terreno si posizionano gli spazi per le officine, le sale di produzione e di montaggio dei sistemi di facciata e le coperture; al piano superiore si aprono gli uffici direzionali, gli uffici di progettazione, le sezioni amministrative e per l'organizzazione di vendita; al centro della planimetria, la sala riunioni con 50 posti e la caffetteria.

L'edificio si configura secondo una regola di chiarezza funzionale e organizzativa, sulla base di una planimetria quadrangolare


ANALISI DELLA TECNOLOGIA

A) Definizione della tipologia di involucro

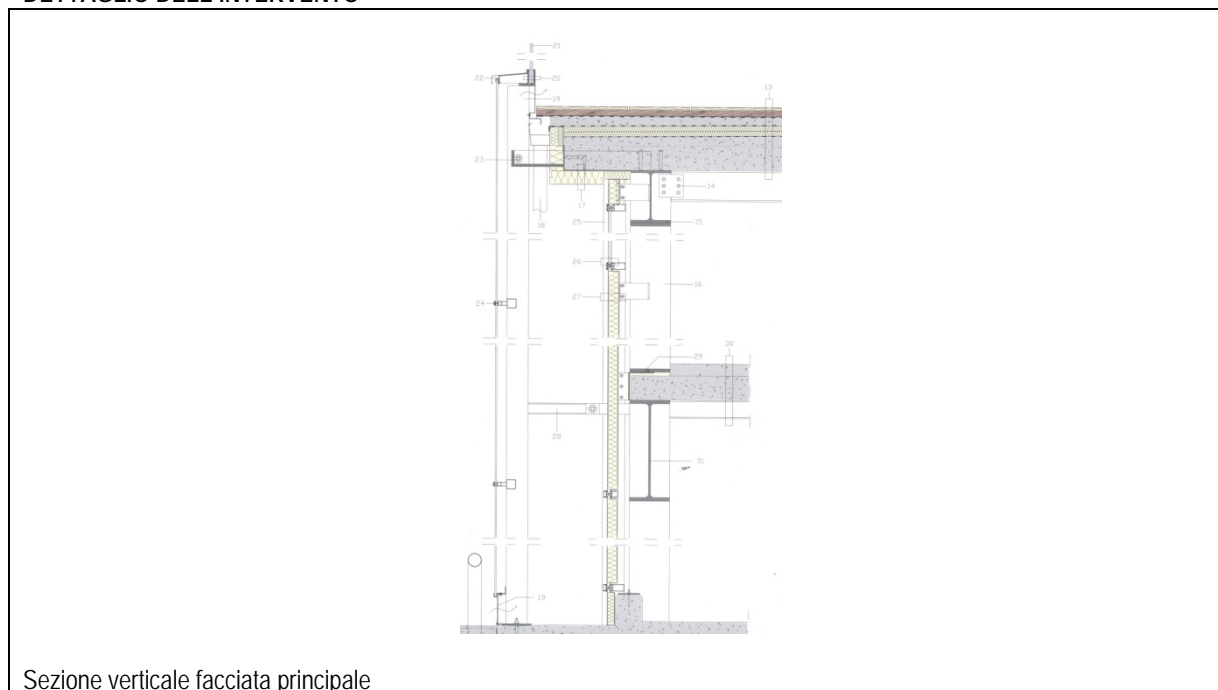
Acciaio e vetro contraddistinguono il progetto: la struttura portante è in acciaio con travi di differente calibro, i prospetti si caratterizzano per il doppio involucro, con vetrate esterne opache. Il prospetto principale evidenzia l'ingresso, in posizione asimmetrica ed inquadrato da montanti in acciaio sporgenti; la facciata continua a vetrata opaca è intersecata da ampie linee oblique colorate che ne segnano il ritmo. Al piano superiore, gli ambienti si dispongono ad anello attorno a due patii che forniscono luce naturale e racchiudono la sala riunioni e la caffetteria.

Negli interni variano i materiali: moquette per li uffici, pavimenti in legno per i corridoi; pareti vetrate trasparenti formano una superficie continua sul corridoio; lastre di rivestimento esterno in acciaio identificano gli uffici direzionali.




Trasparente su opaco

<p>B) Analisi dei materiali utilizzati</p> <p>La pelle esterna, è costituita da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - vetro opaco, sp. 10 mm, compresa griglia di aerazione con lamiera in acciaio forata, sp. 2 mm; - sottostruttura in profili scatolari di acciaio 160x80x6,3 mm; - sistema di collegamento tra i vetri e la sottostruttura formato da telaio in acciaio con montanti e correnti di Frener & Reifer 30x30x3 mm e 70x70x3 mm. <p>La pelle interna, invece, è costituita da:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pannello sandwich formato da lamiera in alluminio, sp. 2 mm; - pannello isolante, sp. 80 mm; - lamiera in acciaio zincato, sp. 2 mm; - angolare in acciaio 120x210 mm, di collegamento tra la parete di tamponamento e il telaio strutturale in acciaio. <p>Nell'intercapedine è presente un sistema di piatti saldati e imbullonati in acciaio di collegamento tra la facciata vetrata e la struttura in acciaio.</p>	
---	---

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Fonte: www.brt.de/, "Frener & Reifer Headquarters", *The Plan*, 032 gennaio 2009, pp. 12-18

Nuova biblioteca comunale Arche Associati - Italia Nembro, Italia 2005 - 2007		NC		
---	---	----	---	---



Committente: Comune di Nembro Impianti termotecnici: Studio Tecnico Zambonin	Strutture: Favero&Milan Ingegneria Impianti elettrici: Eros Grava
---	--

Descrizione sintetica dell'intervento

Il progetto schedato è relativo alla costruzione di una biblioteca Comunale in provincia di Bergamo e prevede due differenti interventi: da una parte, il recupero dell'esistente con la messa a norma di tutte le strutture e degli impianti per ospitare nuove attività, dall'altra, la progettazione ex novo di un volume vetrato che completa la dotazione di spazi della nuova struttura.

L'obiettivo dell'intervento è anche quello di risolvere il contingente stato di abbandono dell'immobile adibendolo a biblioteca, per dotare la città di una struttura dedicata alla formazione e all'informazione dei cittadini. La collocazione strategica rispetto al tessuto urbano, il carattere architettonico della struttura originaria, chiusa su tre lati, e l'esigenza di nuovi spazi, hanno indirizzato il progetto ad un incremento delle superfici, realizzato in un corpo aggiunto posto a chiusura dell'unico lato aperto, originariamente una corte interna.

Il nuovo volume è caratterizzato da uno spazio centrale che si sviluppa in verticale a tripla altezza e viene distribuito attraverso due scale poste alle estremità. Il centro della pianta è occupato da una grande libreria di legno attorno alla quale ci si può muovere liberamente: affacciandosi da un lato è possibile scorgere la vetrata che si apre sulla corte e dall'altro, attraverso i ballatoi, lo spazio interno del piano terreno, dove si trova la sala lettura principale. Una sorta di grande "totem" di libri attorno al quale gravita tutta la vita della biblioteca

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

A) Definizione della tipologia di involucro

L'involucro dell'edificio è del tipo traslucido su trasparente. È costituito da una pelle esterna composta da elementi in cotto di 40x40 centimetri, smaltati di un rosso carminio e da una pelle vetrata interna. La scelta del cotto è stata determinata proprio per le caratteristiche tipiche del materiale: l'obiettivo del progettista sembra essere quello di valorizzare la capacità di schermare, ma al contempo di filtrare la luce naturale, evocando, da un lato, le costruzioni della tradizione, dall'altro, il forte legame con la contemporaneità e le tecnologie di montaggio più innovative.



Traslucido su trasparente

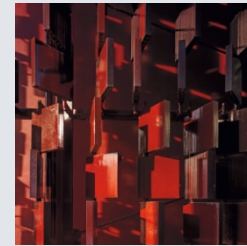
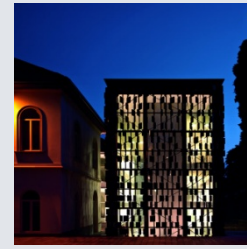
B) Analisi dei materiali utilizzati

Il fabbricato che costituisce il nuovo edificio è completamente vetrato ed è rivestito da una pelle composta da elementi di cotto smaltato, liberi di ruotare lungo il proprio asse. La struttura portante del sistema è realizzata in profili di acciaio a sezione circolare, sulla quale sono applicati gli elementi di cotto stessi.

La pelle esterna è costituita da:

- lamelle di cotto smaltato rosso, 350X350 mm, sp. 5 mm;
- tubolare di acciaio, diametro 24 mm;
- tubolare di acciaio di controventatura, diametro 20 mm;
- piatto sagomato, sp. 12 mm.

Ogni elemento è inserito sui tubolari di acciaio connessi alla struttura portante e può essere liberamente orientato attorno al proprio asse per creare una alternanza dinamica di pieni e vuoti, una superficie non regolare di luce e ombra che nasconde l'interno e, nello stesso tempo, lo lascia vedere. Ogni elemento può essere, nel contempo, bloccato nella posizione prescelta perché garantisca il voluto irraggiamento, anche per evitare spostamenti bruschi dovuti alla forza del vento.



La pelle interna è costituita da:

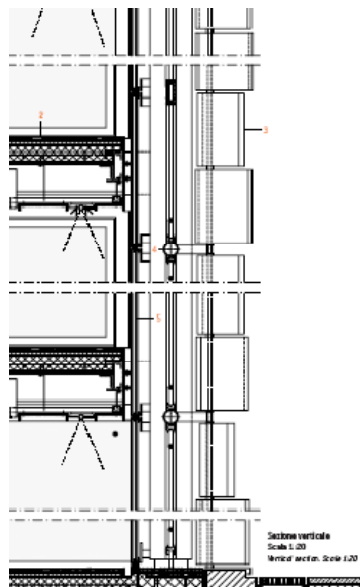
- vetrata strutturale a cellula, 2400X1200 mm;
- vetro temperato, sp. 12 mm;
- camera d'aria, sp. 15 mm;
- vetro stratificato, sp. 6+6 mm



C) Analisi dei sistemi di protezione solare

La scelta del cotto, come sistema di elemento di protezione solare è dovuta alla necessità di ottenere un sistema schermante che non pregiudicasse l'illuminamento naturale e non costituisse una spesa economica ed energetica non sostenibile.

DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Sezione verticale della facciata

Fonte: www.archea.it, Cattaneo, D., Richters, C., Savorelli, P., "Libri di argilla", *Arketipo*, 21/Marzo 2008, pp. 84-95

Porta Palazzo – Exhibition Hall
 Massimiliano e Doriana Fuksas
 Torino, Italia
 2006



NC



Committente: Città di Torino

Superficie lorda: 7.061 m²

Descrizione sintetica dell'intervento

L'intervento consiste nella realizzazione di un edificio composto da cinque piani: due interrati, il primo per il parcheggio autoveicoli, il secondo per le centrali tecnologiche, e tre piani sopraelevati adibiti ad attività commerciali, l'ultimo dei quali dedicato per intero all'attività di ristorazione. Il piano parcheggio ha una capacità di 109 autoveicoli, si sviluppa su una superficie di 4.700 m² ed è articolato su tre livelli. A questo piano, un muro delimita lo scavo che ha riportato alla luce due antiche ghiacciaie ipogee. L'area commerciale è organizzata lungo tutto il perimetro ed è "ritagliata" attorno a queste preesistenze storiche, sulle quali è possibile affacciarsi grazie alla compartimentazione realizzata dal muro, a livello del piano parcheggi.

La facciata esterna dell'edificio è costituita da un sistema di strati sovrapposti di vetro sostenuti da coppie di montanti a C in acciaio; nella zona basamentale ai ricorsi di vetro si sostituiscono progressivamente strati d'acciaio.

Tra questa facciata e quella in muratura si sviluppa uno spazio che avvolge tutto l'edificio e dove sono organizzate le rampe delle scale di sicurezza

ANALISI DELLA TECNOLOGIA

A) Definizione della tipologia di involucro

Per questo progetto, la Focchi, azienda riminese specializzata nella progettazione e realizzazione di facciate continue ad alto contenuto tecnologico, ha studiato una particolare facciata esterna in vetro e acciaio con tecnologia di "mattoncini di vetro". L'involucro, prevede un sistema a pannelli, larghi 2 metri circa e di altezza fino a 11 metri, realizzati con lastre di vetro sovrapposte e alternate fra loro da profili metallici. La particolarità della facciata è data dai "mattoncini di vetro" che compongono i pannelli, sovrapposti a secco l'uno sull'altro creando un "effetto a ventosa". Quest'effetto rende solida l'unione fra i vetri, che sono ancorati con ritegno meccanico solo alle due estremità.



Trasparente su opaco

B) Analisi dei materiali utilizzati

La pelle esterna, è composta da 109 pannelli. Ogni pannello è stato realizzato con mattoncini di vetro chiaro, di dimensioni: lunghezza 2 m, altezza 1 m, spessore 12 cm, sovrapposti in numero variabile da 1 a 70 e alternati a profili metallici di spessore variabile fra 1 e 12 cm.

Tali elementi sono semplicemente sovrapposti a secco, appoggiati l'uno sull'altro in cantiere. In fase progettuale si è pensato anche alla eventuale sostituzione dei piccoli mattoni eventualmente spezzati per cause accidentali (urti) successivamente alla posa in opera. Utilizzando intercalari metallici fissati meccanicamente ai montanti, si sono creati pacchetti di vetro indipendenti formati al massimo da 50-70 elementi. E' così possibile raggiungere il "mattoncino" rotto smontando uno ad uno il relativo pacchetto di vetri, senza dover smontare

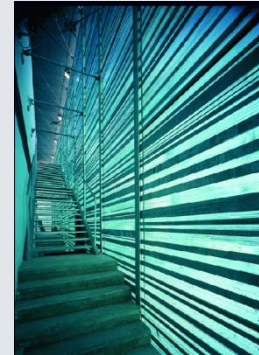


l'intero pannello. I restanti intercalari sono semplicemente appoggiati sui vetri interponendo un foglio di polietilene di spessore 1 mm. L'aspetto estetico del pannello non evidenzia le differenze fra i due tipi di intercalare, dando l'impressione che la sovrapposizione parta dal basso fino alla sommità del pannello, senza soluzione di continuità. Si tratta di un totale di 60.000 pezzi di vetro e di 150.000 Kg di acciaio.

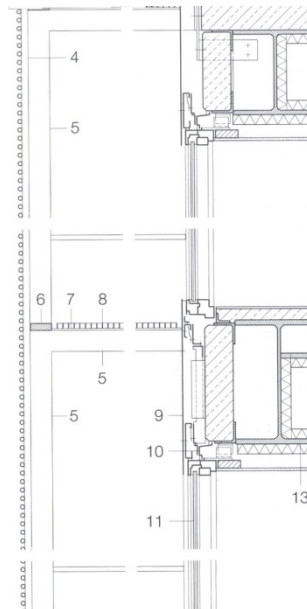
La **pelle interna**, invece, è costituita da

- doppi vetri camera, nelle porzioni trasparenti;
- da blocchi prefabbricati in calcestruzzo con isolamento termico, nelle porzioni opaco.

Tra le due pelli si crea un'intercapedine di dimensioni considerevoli, tali da permettere l'inserimento di una scala di sicurezza.



DETTAGLIO DELL'INTERVENTO



Sezione verticale facciata principale

Fonte: www.fuksas.it, www.arcaedizioni.it, "L'architettura cambia pelle", *l'ARCA*, 227 Luglio/Agosto 2007, pp. 12-18

5.3 Individuazione delle tendenze in atto nella realizzazione di involucri e voluti a comportamento dinamico: materiali, elementi costruttivi e tecniche impiegate

Dall'analisi e sistematizzazione dei casi studio appena descritti è possibile delineare un quadro relativo allo sviluppo di tecnologie, materiali e componenti per involucro evoluto a comportamento dinamico. Nel presente e nei successivi paragrafi si tenterà di delineare questo quadro, considerando due differenti livelli:

- tendenze in atto e innovazioni nei materiali per involucro;
- definizioni di soluzioni e sistemi costruttivi di involucro evoluto a comportamento dinamico in funzione delle famiglie di appartenenza.

Materiali, componenti e sistemi costruttivi devono essere scelti attentamente: l'involucro offre in facciata una varietà di possibilità applicative della tecnologia solare¹ che, se adeguatamente installate, consentono la possibilità di accumulo (e in alcuni casi di cablaggio) in grado di garantire una copertura quasi totale del fabbisogno energetico.

Nell'ultimo quinquennio, si è assistito alla presentazione di molti materiali proposti dalle aziende quali soluzioni ideali per il rispetto delle prestazioni energetiche richieste dalle citate normative (vedi capitolo 1 e 3).

Nella terminologia utilizzata per definire la prestazione energetica di un edificio si è progressivamente sostituito il concetto di risparmio con quello di efficienza:

¹ Lo sfruttamento dell'energia solare può avvenire attraverso due modalità: guadagno diretto e indiretto.

Il guadagno diretto dipende principalmente dalla tipologia e dalla distribuzione dell'edificio e dei suoi componenti, specialmente dell'involucro. Nell'ambito degli involucri edilizi, l'energia solare è utilizzata per sfruttare il tiraggio termico e le differenze di pressione risultanti, per illuminare lo spazio interno con luce naturale e per riscaldare gli spazi interni sfruttando l'effetto serra.

Esiste una vasta gamma di sistemi a disposizione per immagazzinare e ridistribuire l'energia: camere d'aria cuscinetto, termoisolanti trasparenti e vetri con elevato potere isolante (con trasmittanza inferiore a $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$) ampliano le possibilità di guadagno diretto del sole riducendo le perdite di calore rispetto al convenzionale vetro camera. L'utilizzo di materiali micrograticolati, come ad esempio reti metalliche, consentono un utilizzo più efficiente della luce diurna, specialmente negli edifici per uffici dove il carico d'energia per il raffreddamento è elevato e sono richieste specifiche condizioni di comfort da parte dell'utente.

Come indica il termine, il guadagno indiretto si riferisce, invece, ad un uso indiretto dell'energia solare con l'aiuto cioè di collettori o sistemi autonomi integrabili nell'involucro dell'edificio. Attraverso questa modalità, l'energia solare è usata ad esempio per la produzione d'acqua o aria calda, per il riscaldamento di spazi interni e per la produzione di acqua ad uso domestico. La conversione delle radiazioni solari in fonte di raffreddamento è un'altra applicazione nella quale sono usati collettori solari in combinazione con pompe per l'assorbimento termico oppure sistemi d'accumulo termico o chimico.

La captazione e l'accumulo di energia solare finalizzato alla produzione di energia elettrica o di acqua calda sanitaria aprirebbe un capitolo molto vasto. Per questo motivo si è scelto di non affrontarlo in questa sede.

nell'accezione più innovativa, il punto di forza di tale richiesta risiede nel funzionamento del sistema costruito capace di comportarsi in maniera efficiente. Se da un lato sotto la spinta delle norme più attuali si è assistito alla messa a punto di materiali e soluzioni tecniche mirate a contenere sempre di più la trasmittanza e ad evitare i ponti termici, dall'altro i modelli più innovativi di edifici efficienti trovano posto nell'integrazione tra tipologia edilizia, layout distributivo, tecnologie per l'involucro ed integrazione con i sistemi impiantistici.

Il concetto di efficienza energetica può avvicinarsi a quello di passività e di autosufficienza, in quegli ambiti climatici caratterizzati dalla prevalenza delle problematiche invernali e per tipologie edilizie di natura semplice. In tutta Europa sono ormai numerose le esperienze di edifici passivi, che grazie ad un eccellente isolamento termico accoppiato all'utilizzo di risorse energetiche rinnovabili, possono vantare un altrettanto eccellente livello di efficienza energetica.

Tuttavia la vera sfida riguarda quegli ambiti climatici caratterizzati da estati altrettanto aggressive quanto gli inverni, soprattutto se si tratta di contesti urbani caratterizzati dalla compresenza di edifici esistenti e da altri di nuova previsione.

In questi casi, a scala di quartiere, di isolato o di intervento articolato, con poco spazio libero in cui collocare collettori solari od in aggregazioni tipologiche caratterizzate da diverse funzioni e diversi edifici, l'innovazione tecnologica porta verso sistemi integrati, dinamici e dialoganti, che possono definirsi attivi o interattivi.

I successivi livelli di integrazione innovativa riguardano la funzionalizzazione delle superfici dell'involucro, che possono essere integrate con moduli solari, fotovoltaici ed altro, nonché l'integrazione passiva o attiva con i sistemi impiantistici che forniscono energia all'edificio.

Nella quasi totalità dei casi si tratta di materiali per i quali la ricerca spinge al massimo livello possibile le prestazioni tradizionali. In alcuni altri casi si assiste addirittura alla riproposizione di materiali che erano stati messi da parte poiché di difficile utilizzo, che ora sono lanciati come innovazioni. Entrando nel merito di alcuni esempi specifici, nel campo degli infissi con telai a taglio termico, ad esempio, si sovrappongono quelli che aggiungono schiume all'interno dei profili; nei sistemi in vetro, invece, il mercato ha ormai assorbito soluzioni che sino a pochi anni addietro avevano costi troppo elevati, quali vetrate isolanti con lastre esterne ad alto fattore solare e lastre interne basso emissive, arricchite con inserimento di gas rarefatti. Riguardo ai sistemi opachi, i materiali che più hanno cercato di sfruttare l'impulso del nuovo quadro normativo sono quelli dotati di maggiore

massa, che si sono proposti quali migliorati attraverso l'utilizzo di colle insieme ad altri materiali che sfruttano altri accorgimenti per ridurre i ponti termici.

Soluzioni che in passato erano state superate per via di diversi problemi costruttivi correlati, quali quelle a cappotto, sono oggi riproposte con forza (anche in situazioni che forse potrebbero impiegare soluzioni più complesse). Paiono però apprezzabili gli sforzi compiuti da diverse aziende per rendere più efficace, economico e sicuro l'utilizzo delle facciate ventilate. Mentre risulta decisamente troppo indietro la ricerca sui materiali a fase variabile, si assiste invece alla diffusione di una nuova generazione di intonaci a grande spessore con inerti isolanti (fig. 5.1).

Un interessante filone di ricerca e progettazione, soprattutto legato agli edifici di piccola dimensione, riguarda i sistemi a secco con strutture in legno (fig. 5.2) e pareti in grado di raggiungere livelli prestazionali di coibenza eccellenti. Tuttavia anche questi sistemi mostrano il limite, non solo dimensionale, legato alla scarsa adattabilità ai diversi contesti ed alla unidirezionalità dell'efficacia tecnologica.



Figura 5.1 Inerti per intonaci isolanti

All'interno di questo variegato ambito della tecnologia edilizia è possibile rintracciare alcune linee di evoluzione negli involucri. La quantità di proposte e innovazioni che compaiono di continuo tende a confondere la percezione d'insieme e rende difficile individuare delle tendenze diffuse e soprattutto di qualità. È possibile però individuare dei trend che si stanno affermando: in generale si può osservare come le facciate stiano diventando sempre più multifunzionali, gestendo meglio i flussi energetici, regolando la luce e le condizioni dell'ambiente interno. Tale tendenza è accompagnata e spinta dalla rapida evoluzione della ricerca sui materiali e i componenti che tendono sempre più ad ampliare le loro funzioni aggiungendo alle tradizionali proprietà delle nuove come la regolazione del calore, della luce o la trasparenza (si pensi ai calcestruzzi trasparenti additivati con fibre ottiche, oppure agli isolanti e alle barriere al vapore traslucide).



Figura 5.2 Esempio di edificio con sistema costruttivo a secco in legno

Nell'analisi dei materiali sviluppati e presentati nell'ultimo quinquennio è possibile evidenziare essenzialmente quattro linee di innovazione per gli involucri: adattività, bassa manutenzione, miglioramento qualità ambientale e produzione di energia.

La pelle degli edifici tende a diventare un sistema attivo che modifica le proprie prestazioni, ed eventualmente anche la propria forma, in funzione delle condizioni ambientali esterne. All'interno di questa categoria si possono annoverare sicuramente i casi delle schermature mobili, più o meno complesse. In particolare si osserva la tendenza a rendere i movimenti di tali elementi meno dipendenti da

Adattività



Figura 5.3 Esempio di rete resistente anche negli impieghi più estesi



Figura 5.4 Esempio di rete resistente agli agenti atmosferici

Bassa manutenzione

componenti elettrici al fine di garantirne una maggiore durabilità riducendone la manutenzione. Grande importanza stanno assumendo le protezioni in reti o tessuti metallici:

- alcuni flessibili e resistenti anche se impiegati nelle grandi realizzazioni architettoniche (fig. 5.3);
- altri particolarmente efficienti contro gli agenti atmosferici (fig. 5.4);
- altri ancora in grado di offrire effetti cromatici e di traslucenza del tutto particolari.

Oltre agli schermi, si osserva più in generale l'avvento di materiali in grado di modificarsi con le condizioni atmosferiche. I vetri trattati con diossido di vanadio, per esempio, sono in grado di cambiare, passando da trasparenti a riflettenti, in base alla temperatura a cui sono soggetti e diventano quindi dei regolatori passivi della radiazione solare². Un caso analogo è rappresentato dai vetri elettrocromici³ che possono cambiare colore grazie ad un apposito stimolo elettrico.

La necessità e la spinta a ridurre i costi di gestione di un edificio agisce sulla durabilità degli elementi tecnici che lo compongono e sulla riduzione della loro manutenzione. Accanto a materiali con componenti autopulenti e autoriparanti, si possono annoverare vernici sempre più resistenti anche agli agenti più aggressivi: è questo il caso di allumini preverniciati⁴. Inoltre potrebbero a breve affacciarsi sul

² Si tratta del risultato di una ricerca di un gruppo di chimici dell'University College di Londra, pubblicata sul Journal of Materials Chemistry. Il Professor Ivan Parkin, responsabile della ricerca, ha scoperto che il Diossido di Vanadio ha la proprietà di comportarsi come semiconduttore o come metallo oltre una soglia di temperatura (*switch temperature*) a cui il materiale è sottoposto ovvero, oltre la temperatura di 70° C la struttura cambia, rendendo il materiale metallico. Parkin ha trovato che aggiungendo del tungsteno (1,9 % per l'esattezza), il composto diventa metallico a 29°C. Ciò significa che ponendo uno strato di Diossido di Vanadio su un vetro, questo lascerebbe passare la luce e il calore fino a 29° C, ma all'aumento di temperatura il materiale riflettere le radiazioni infrarosse che determinano il riscaldamento. Applicando il Diossido di Vanadio su una lastra di vetro con il metodo APCVD (Deposito di Vapori Chimici a Pressione Atmosferica), il processo industriale più comunemente usato per stendere una patina su un vetro, si ottiene uno strato resistente alla scalfittura e perfettamente adesivo, non reagente agli acidi organici.

³ Nella camera tra le due lastre di vetro si trova uno strato di cristalli liquidi il cui stato può essere modificato a seconda delle necessità applicando un campo elettrico. In assenza di tensione elettrica gli strati con i cristalli liquidi sono di colore bianco lattiginoso e bloccano la radiazione luminosa, mentre se viene applicata una tensione diventano trasparenti. La trasmissione della luce in presenza di un campo elettrico varia dal 40 al 70 %.

⁴ È stato messo a punto un sistema di verniciatura resistente alle aggressioni degli agenti esterni. Viene così creato un prodotto in alluminio laminato preverniciato che vanta un ottimo comportamento negli ambienti più aggressivi e contro ogni forma di corrosione. Particolari performance sono raggiunte per la resistenza ai raggi solari, in particolare gli UV, che sono causa del viraggio del colore. Tale soluzioni si prestano per un ampio impiego nei rivestimenti di facciata e nei contorni delle finestre. In accordo con le richieste del mercato il prodotto possiede specifici requisiti che lo rendono particolarmente versatile e adattabile a

mercato materiali in grado di autoripararsi. In questo ambito la ricerca nel campo dei polimeri e dei metalli sta portando ad una nuova generazione di componenti che, a livello di nanoscala, sono in grado di autoripararsi da fratture superficiali e da piccoli fori che, nel tempo, si possono formare nel materiale. Si tratta di elementi in grado di ricristallizzarsi tornando alla condizione iniziale e che, a breve, probabilmente inizieranno ad avere un'applicazione anche nel settore edile⁵.

Miglioramento qualità ambientale

Gli organismi edilizi, che per natura costituiscono elementi di conflitto col paesaggio naturale cominciano a mostrare la volontà di contribuire al miglioramento della qualità ambientale del contesto in cui si trovano. Tra le prime realizzazioni si ricordano quegli edifici attenti ad una progettazione bioclimatica ed ecosostenibile volta alla riduzione del fenomeno dell'isola di calore⁶, attraverso semplici accorgimenti quali la diminuzione delle superfici esterne lastricate o pavimentate che producono elevate superficiali e che riflettono la radiazione solare. In questa direzione si possono leggere le facciate a verde (fig. 5.5) ma anche l'avvento di nuovi materiali, i cosiddetti *cool materials* che rimangono freddi poiché, grazie alle loro bassissime emissività, non assorbono il calore e rimettono per irraggiamento in ambiente l'energia incidente. Essi sono già oggi presenti sul mercato, essenzialmente sotto forma di vernici, film e membrane.

Miglioramento qualità ambientale



Figura 5.5 Parete verde

Ormai da tempo si auspica un cambiamento del rapporto tra gli edifici e gli enti fornitori di energia, che vada verso un sistema territoriale diffuso in cui i singoli organismi edilizi siano in grado di produrre energia evitando il rapporto a senso unico dal produttore al consumatore. In tal senso la ricerca si sta indirizzando verso sistemi di film fotovoltaici sottili sempre più economici e performanti in grado di

Produzione di energia

diverse soluzioni e applicazioni architettoniche: facilità di lavorazione, elasticità della vernice, perfetta planarità del supporto, resistenza ad agenti aggressivi e inquinanti.

⁵ Tali soluzioni si basano su diverse ricerche tra cui quella dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II" sui Microsistemi a Base di Polimeri (MICROPOLYS). La ricerca proposta in MICROPOLYS intende integrare competenze sulle tecniche di sintesi e caratterizzazioni di polimeri con quelle altrettanto di sintesi di materiali e fabbricazione di microcircuiti, realizzata con materiali inorganici. Entrambe trovano un punto di contatto nella possibilità di essere applicate a substrati polimerici, garantendo una transizione continua dai micro-sistemi parzialmente polimerici basati su silicio ricristallizzato a bassa temperatura, e sistemi esclusivamente polimerici ove ogni materiale impiegato è costituito da polimeri.

⁶ L'isola di calore è il fenomeno che determina un microclima più caldo all'interno delle aree urbane cittadine, rispetto alle circostanti zone periferiche e rurali. Il maggior accumulo di calore è determinato da diverse cause, tra le quali l'impermeabilizzazione delle superfici (con diffusa cementificazione) a discapito delle aree verdi, le emissioni degli autoveicoli, degli impianti industriali e dei sistemi di riscaldamento e di aria condizionata ad uso domestico

essere integrati nei materiali da costruzione⁷ e in porzioni sempre più ampie dell'involucro.

5.3.1 Evoluzione dei componenti per sistemi trasparenti

Nel contesto mediterraneo, l'applicazione di involucri trasparenti porta con sé un notevole problema energetico nella stagione estiva: il rischio di avere elevate temperature interne, dovute all'effetto serra, porterebbe infatti alla quasi totale inapplicabilità di grandi superfici vetrate.

Queste, in realtà, sono in grado di apportare notevoli vantaggi di comfort abitativo e buoni risultati in materia di contenimento energetico, se progettate in maniera corretta.

L'applicazione di sistemi altamente performanti (vetri camera o basso emissivi) garantisce buone prestazioni ma ad un costo forse oggi eccessivo, sia economico che tecnologico. Alcune soluzioni innovative rispondono a tali questioni più semplicemente, in fase di progettazione, montaggio, uso e manutenzione, aggiungendosi al sistema di chiusura verticale dell'edificio ed accrescendone le prestazioni.



Figura 5.6 Esempio di vetro elettrocromici

Le sostanziali innovazioni nei componenti per sistemi trasparenti si hanno come già accennato nell'ambito dell'adattività: è questo il caso dei già citati vetri trattati con diossido di vanadio e dei vetri elettrocromici (fig. 5.6).

Quanto alla componentistica occorre infine fare un cenno agli infissi ed ai sistemi di vetratura. Se da un lato il vetro accresce la sua capacità isolante, attraverso le doppie camere, i coating basso emissivi e selettivi o l'accoppiamento in soluzioni stratificate con materie plastiche, dall'altro l'infisso, che di base utilizza profili in grado di ridurre al minimo le dispersioni (ad esempio attraverso l'introduzione di schiume poliuretaniche) è sempre più trattato come un sistema integrato con frangisole, elementi oscuranti, avvolgibili, isolanti, sino ad attrezzarsi con congegni attivi che ne generano la ventilazione e ne gestiscono la schermatura solare.

⁷ Aster – Rete Alta Tecnologia della Regione Emilia Romagna, in collaborazione con altri enti e centri di ricerca ha contribuito alla creazione di numerosi centri di ricerca tra cui il laboratorio Cecerbench. *“Il Centro Ceramico di Bologna ha realizzato il laboratorio Cecerbench per studiare e sviluppare piastrelle con una superficie funzionalizzata, in modo da offrire ai produttori di piastrelle ceramiche dell'Emilia-Romagna (ma non solo) un'assistenza tecnica altamente qualificata unitamente a risultati di innovazione tecnologica per la fabbricazione di prodotti ad alto valore aggiunto. La funzionalizzazione della superficie si configura come un'implementazione delle caratteristiche del prodotto che ne accresce il potenziale mercato. Il laboratorio si avvale della collaborazione di aziende e istituti di ricerca in grado di garantire integrazione di tutte le competenze necessarie allo sviluppo di nuovi prodotti e sta operando per creare tutte le possibili sinergie al fine di focalizzare correttamente le attività di ricerca e di evitare dispersione di risorse umane ed economiche”*. <http://www.aster.it/cecerbench.html>

Sempre rimanendo nell'ambito della componentistica per sistemi trasparenti, vengono sempre più presentate interessanti soluzioni per vetrate che garantiscono vetri non forati e superfici esterne del vetro senza interruzioni.

Un esempio significativo di tale soluzione è rappresentato dal Vero Multifunctional Centre a Belgrado, Serbia (fig.5.7), un edificio con involucro trasparente su trasparente realizzato con sistema per facciate puntiformi con snodo sferico senza foratura dei vetri. La pelle esterna risulta qui del tutto indipendente da quella interna: ciò permette la realizzazione dell'involucro anche da parte di personale non specializzato, garantendo ottimi risultati e prestazioni, con un notevole abbassamento dei costi di manodopera.



Figura 5.7 Vero Multifunctional Centre a Belgrado – Serbia

5.3.2 Evoluzione dei componenti per sistemi traslucidi

Molte aziende del settore propongono negli ultimi anni tecnologie semplici da applicare su qualsiasi tipo di facciata, caratterizzate principalmente da frangisole orizzontali o verticali, oppure da sistemi traslucidi che presentano strutture indipendenti rispetto alla pelle interna.

Un esempio è rappresentato in tal senso dall'edificio di Richard Rogers Ching Fu Group Headquarters a Taiwan, centro direzionale situato lungo il tropico del Cancro, soggetto a lunghe estati calde ed a periodi di intensa attività monsonica. La facciata sud, realizzata dalla Bright Curtain Metal Co. Ltd, è composta da lamelle perpendicolari (griglie metalliche fissate alla struttura in vista, indipendenti rispetto al sistema dell'involucro vetrato) che contribuiscono a ridurre il soleggiamento diretto ed il conseguente accumulo di calore della sottostante pelle vetrata.

Rimanendo nell'ambito della protezione solare, un sistema innovativo di facciata è rappresentato da un sistema ibrido: pale frangisole e lame di vetro in grado di ottenere i benefici della famiglia trasparente su trasparente nel periodo invernale e dei frangisole orientabili nel periodo estivo. Nel periodo invernale il sistema viene chiuso, con le pale frangisole in posizione orizzontale ed i vetri in posizione verticale, in modo che i raggi solari riscaldino l'aria nell'intercapedine fra i vetri generando una diminuzione del fabbisogno di riscaldamento dei locali. Nel periodo estivo le pale frangisole vengono ruotate fino ad intercettare i raggi solari, nell'ora di massimo irraggiamento, ed a mantenere in ombra la chiusura dell'edificio (fig. 5.8).



Figura 5.8 Sistema innovativo di facciata a doppio involucro con frangisole integrato

I materiali metallici applicabili alle costruzioni sono molteplici: lamiera forata, lamiera stirata, griglia, reti, maglie e tessuti. Si tratta di sistemi che si collocano nella sfera intermedia tra involucri opachi e trasparenti e non solo di semplici prodotti per l'edilizia industriale o le strutture temporanee trasferiti in facciata. Il costante sviluppo delle tecniche di produzione offre nuove possibilità di conferire proprietà speciali a materiali e prodotti, in particolare nel caso di loro impiego per gli involucri degli edifici.

Con l'introduzione in facciata dei materiali metallici, perforati e a maglia, gli edifici possono essere come avvolti da tessuti metallici che possono apparire leggeri. Il carattere tessile dei tessuti metallici ammette ogni possibile geometria, anche per grandi superfici che possono essere realizzate con uno sforzo di montaggio relativamente ridotto: i vantaggi di questi materiali risiedono nella lavorabilità relativamente buona, basse spese di manutenzione e possibilità di configurazione progettuale. Inoltre tali superfici sono in genere robuste, durevoli e non comportano elevati costi di lavorazione. Gli elementi di facciata metallici, appesi all'esterno dell'edificio, sono perfetti come protezione solare e come elementi di conduzione della luce (fig. 5.9).



Figura 5.9 Edificio residenziale, Torino, rivestimento di facciata in rete metallica.

L'alluminio ha per esempio una capacità di riflessione termica estremamente elevata. È molto resistente nei confronti degli agenti ambientali grazie alla patina sottile e rinnovabile di ossidi che si forma sulla sua superficie. Per la sua elevata resilienza può essere fissato con semplici dispositivi di bloccaggio e fissaggio. In questo modo si possono evitare le perforazioni di superficie necessarie per le connessioni puntuali.

Il titanio, spesso utilizzato nell'involucro di grandi edifici rappresentativi, presenta una elevata resistenza con peso proprio basso e ottime caratteristiche meccaniche e termiche.

L'impiego principale in architettura è rappresentato da maglie metalliche (fig. 5.10) e da lamiere sottili semilavorate.



Figura 5.10 Edificio terziario, Torino, rivestimento di facciata in maglia metallica.

Per quanto riguarda le prime, si tratta di strutture molto simili alle maglie tessili, in quanto sono composte da un unico filo praticamente senza fine che viene lavorato con una serie di punti fila per fila a formare una superficie. Le maglie metalliche sono state finora esclusivamente utilizzate come finiture di interni: un possibile sviluppo futuro è nell'impiego come protezione solare, ad esempio nelle intercapedini tra le lastre trasparenti di un involucro a doppia pelle.

Le lamiere sottili semilavorate hanno solitamente proprietà fisiche isolanti molto sfavorevoli, quando non addirittura assenti. Vengono spesso utilizzate come parte di strutture multistrato, nelle quali solo il rivestimento esterno è metallico. In genere, le prestazioni di isolamento sono garantite dagli strati posteriori. Le azioni che la pelle esterna deve controllare sono quindi la protezione meccanica dagli agenti atmosferici, la protezione dalla corrosione e da diverse sollecitazioni meccaniche (ad esempio causate dal vento).

In ciò è insito un aspetto contraddittorio: l'involucro deve essere pienamente efficace dal punto di vista prestazionale, prima che questo venga rivestito di materiali perforati; le strutture a un solo guscio possono perciò essere utilizzate principalmente all'interno dell'edificio oppure all'esterno come sistema di protezione solare oppure per sfruttare la conduttività nell'effetto serra.

Negli ultimi anni, ha avuto grande sviluppo la tecnologia della plastica, in particolare dei materiali compositi, che hanno portato a un numero crescente di progetti innovativi realizzati con membrane o con tessiture generiche.

Un tessuto - almeno nello stato di tensione - viene definito sistema se è realizzato con fili disposti in maniera più o meno ortogonale. I fili solitamente sono composti da diverse centinaia di fibre naturali, minerali, metalliche e di polimeri termoplastici. Le fibre vengono solitamente prodotte in modo sintetico e possono essere prodotte in varie sezioni, adatte a necessità differenti; i fili di cui esse costituiscono il materiale primario vengono definiti filamenti.

Sezione e lunghezza delle fibre naturali (ad esempio cotone, seta, canapa, lino) sono fisse: la sezione è solitamente circolare e sempre superiore a 0,1 mm, mentre le fibre sintetiche possono essere anche più sottili.

Per migliorare il comportamento del tessuto rispetto all'imbrattamento, la sua durata ed eventualmente anche le sue proprietà antincendio, il tessuto viene spesso rivestito su entrambi i lati (coating) proteggendo così la membrana da umidità, raggi UV, incendi, microbi e attacchi fungini. Solo il rivestimento rende una superficie tessile impermeabile nel tempo e consente di applicare diverse colorazioni con tecniche di stampa o l'aggiunta di pigmenti. Il rivestimento permette di unire i pezzi di membrana mediante procedimenti di saldatura termica o ad alta frequenza. I rivestimenti oggi più comuni sono il polivinilcloruro (PVC), il politetrafluoroetilene (PTFE) e il silicone. Con il PTFE si possono rivestire solo tessuti le cui fibre hanno una temperatura di fusione superiore a quella del PTFE (pari circa a 327°C), come ad esempio i tessuti di vetro (fig. 5.11).



Figura 5.11 Casa unifamiliare, Vienna

Per determinare il campo delle applicazioni sarebbe opportuno quantificare requisiti quali la protezione antincendio, l'isolamento termico e acustico, le proprietà meccaniche del materiale, la permeabilità a gas e liquidi (aria, vapore, pioggia), la trasmissione, l'assorbimento e la riflessione.

Sebbene in linea di principio le membrane sottili non offrano sufficiente isolamento termico e acustico, con sistemi di membrane a più strati si possono soddisfare i criteri di una protezione termica sufficiente d'estate e d'inverno. Si possono facilmente ottenere valori di trasmittanza termica da 2,7 a 0,8 $\text{W/m}^2\text{K}$.

Oggi anche la realizzazione di strutture di membrane a più strati con isolamento termico e acustico è diventata realtà. Fornire sufficiente isolamento termico mantenendo la traslucidità o perfino la trasparenza è stato finora possibile solo nelle membrane multistrato con sostegno pneumatico. Le strutture a membrana saranno un ulteriore passo in avanti con lo sviluppo dei sistemi di tessuti multistrato associati ad altre tecnologie, come l'isolamento termico trasparente, per realizzare un sistema nell'insieme economico. In alternativa continua lo sviluppo di sistemi di membrane multi strato tendenti alla produzione e allo sfruttamento dell'energia solare.

Di seguito si propone solo una breve selezione delle tipologie di membrana disponibili:

- *tessuti di cotone*, solitamente non vengono rivestiti bensì impregnati. Il cotone è resistente al calore alle temperature tipiche dell'edilizia ed è resistente alle comuni concentrazioni di sostanze chimiche. A causa della struttura organica del cotone, entrambi i tipi vengono utilizzati solamente in strutture indoor o in strutture temporanee soggette a carichi minimi;
- *tessuti metallici*, come già accennato, sono permeabili e in genere composti da fili, trecce o cavi a sezione circolare o talvolta piatta di materiali metallici come acciaio inox, acciaio al titanio, al cromo o al nickelcromo o anche metalli non ferrosi. I fili a sezione circolare hanno come standard un diametro tra 18 μm e 16 mm. A seconda delle fibre e dei fili di un tessuto tessile, una treccia è prodotta con la torcitura di minimo 3 e massimo 9 fili. I tessuti metallici trovano impiego principalmente come rivestimenti di facciata o protezioni solari;
- *tessuti di fibra di vetro rivestiti di PTFE* sono materiali di qualità elevata, con una durata di almeno 25-30 anni e sono ora considerati un prodotto standard nell'edilizia tessile. Il tessuto è composto da filamenti di vetro di diverso diametro (circa 4 μm , 6 μm , 9 μm). Grazie all'impregnazione del tessuto di vetro, nelle intercapedini del tessuto non può penetrare umidità;

si tratta comunque di un rivestimento microporoso, perciò liquidi con bassa tensione superficiale, gas e vapori possono penetrare all'interno. I tessuti di fibra di vetro rivestiti interamente di PTFE possono raggiungere una traslucidità di circa il 13%, e come tessuto reticolato permeabile o impermeabile raggiungono circa il 65%, ma a spese della resistenza;

- *tessuti di fibra di vetro rivestiti di silicone*, in passato erano poco utilizzati in edilizia poiché il silicone ha una carica statica e attrae lo sporco, con risultati non soddisfacenti. Dal momento che il materiale di base per la trasmissione dei carichi è il tessuto di fibra di vetro, questi tipi di tessuti con rivestimento di silicone hanno un comportamento meccanico simile a quelli con rivestimento in PTFE, presentando però una traslucidità nettamente superiore (oltre il 20%) e un costo inferiore rispetto a quelle rivestite in PTFE. Inoltre negli ultimi anni, la ricerca ha permesso un miglioramento rispetto ai requisiti di pulizia, permettendo così un più ampio impiego in edilizia;
- *tessuti di fluoropolimeri non rivestiti* sono principalmente rappresentati dal PTFE, sottoforma di tessuto monofilamento. Si tratta di tessuti non particolarmente diffusi nell'edilizia a causa dell'elevato prezzo, anche se presenta una traslucenza, in funzione dello spessore, pari anche al 37%. La resistenza all'imbrattamento, alla deformazione e all'attrito sono eccellenti, cosicché i tessuti di PTFE vengono spesso utilizzati per i dispositivi di protezione solare. Presentano però alcuni rischi relativi all'attacco di sporco, umidità e attacchi da parte di diversi agenti biologici e chimici.

5.3.3 Evoluzione dei componenti per sistemi opachi

Piccoli elementi per sistemi da realizzare in opera, grandi elementi per sistemi prefabbricati o preassemblati costituiscono i principali componenti per pareti perimetrali, leggere o pesanti. L'innovazione di questi componenti risiede sostanzialmente nella ricerca tesa a ridurre la trasmittanza, a favorire l'eliminazione dei ponti termici ed a garantire prestazioni di insieme certificate.

Per quanto riguarda i piccoli elementi semplici i tre obiettivi principali dei produttori sono:

- la riduzione della trasmittanza del materiale di base, per esempio attraverso la realizzazione di blocchi forati a setti laminari con interposizione di schiume isolanti;

- la riduzione della trasmittanza dei giunti, attraverso l'utilizzo di collanti in luogo delle malte;
- l'aumento delle prestazioni del sistema, ad esempio attraverso l'introduzione già in fase di produzione di pannelli isolanti nel materiale grezzo, tra due strati dello stesso.

La distinzione fondamentale per i piccoli elementi per sistemi da realizzare in opera è tra tecnologie a strati contigui e tecnologie ventilate: in entrambi i casi è possibile ottenere livelli prestazionali elevati di isolamento termico in quanto entrambi presentano il grande vantaggio di eliminare completamente i ponti termici. Per quanto riguarda la tecnologia a strati contigui è possibile riscontrare che la soluzione più diffusa sia quella cosiddetta a cappotto, che oggi può essere rivestita con listelli, con pietre ricostituite, con intonaci od altri elementi di finitura direttamente fissati sull'isolante, grazie alla messa a punto di materiali ad alta densità dotati di resistenza tangenziale, di collanti sempre più efficienti integrati da fissaggi meccanici. I sistemi per soluzioni a parete ventilata si stanno evolvendo verso componentistica parzialmente preassemblata, finiture multistrato sempre più leggere, elementi di supporto leggeri (come per esempio quelli in fibro-rinforzati), isolanti sottili e multistrato, in grado di garantire alto isolamento e buona inerzia termica. Tutto ciò al fine di diminuire i carichi statici, velocizzare la posa, aumentare le prestazioni e ridurre in generale i costi di realizzazione.

L'obiettivo principale dei grandi sistemi preassemblati o prefabbricati, è quello di fornire un sistema costruttivo completo, capace di garantire determinate prestazioni e di certificarle; si tratta perciò di sistemi spesso integrati a quelli strutturali fino a fornire edifici completi. Le tecnologie descritte sono spesso distinguibili in base al materiale caratterizzante con cui vengono realizzate: sistemi a base di legno, a base di acciaio, a base di fibre.

Accanto all'evoluzione di questi componenti, la ricerca si sta spingendo verso lo studio della stratificazione, che non considera il materiale singolarmente, ma lo mette a sistema con altri. La ricerca del materiale più idoneo è quindi sostituita oggi dal tentativo di ricavare guadagno dalla sinergia e dalla reciproca interazione tra i diversi elementi che compongono un involucro.

Le prestazioni dei materiali tradizionali come il laterizio, la pietra naturale o il legno sono riscoperte in ogni luogo e raggiunte in modo completamente nuovo. Anche prodotti edili industriali come il compensato e le fibre di cemento, le lastre di materiali sintetici e le lamiere nervate, dopo alcuni discontinui esempi, vengono più ampiamente impiegati. Inoltre, da alcuni settori industriali, arrivano soluzioni che fino ad ora non avevano trovato facile impiego in architettura, se non nelle grandi

opere. La più significativa innovazione in atto è di tipo adattivo: un significativo esempio di tale trasferimento è rappresentato dagli isolanti termoriflettenti multistrato, in grado di offrire elevate prestazioni isolanti con spessori decisamente ridotti. Nello specifico si tratta di un materiale coibente, normalmente utilizzato nei settori aerospaziali, di 24mm di spessore composto da 14 sottili strati (pellicole metallizzate con griglia di rinforzo, nappi di lana di pecora, schiume e pellicole riflettenti intermedie, fig. 5.12) che ottiene un efficace isolamento sia invernale che estivo, raggiungendo risultati pari a circa 20cm di isolante tradizionale.



Figura 5.12 Isolante termoriflettente multistrato

Un altro significativo esempio relativo all'evoluzione dei materiali per involucri opachi deriva dalle sperimentazioni sui processi di produzione della ceramica. Oggi è infatti possibile ottenere laminati ceramici di grandi dimensioni (1000X3000mm) di soli 3mm di spessore (fig. 5.13), impiegabili sia per rivestimenti interni che esterni: pavimenti e rivestimenti, pareti ventilate, controsoffitti, rivestimenti coibentati, gallerie, metropolitane, ecc. L'impiego di questi materiali in sistemi per facciate ventilate prevede un supporto strutturale, solitamente in fibra di vetro (fig. 5.14).



Figura 5.13 lastra di ceramica di 1000X3000mm e di 3mm di spessore

Altre interessanti soluzioni sono state sviluppate nell'ambito di questi sistemi: si tratta, ad esempio, del GRC (Glass Reinforced Concrete), la cui matrice è a base cementizia, con armatura omogenea a fibre di vetro, spruzzata su di una pelle di spessore massimo di 15mm. Il suo maggiore utilizzo è nell'esecuzione di rivestimenti di facciata ed elementi di finitura (fig. 5.15). Alcuni innovativi sistemi di tamponamento in GRC rendono possibile la realizzazione di diversi tipi di involucri, sia a cappotto che ventilati, in grado di rispondere adeguatamente ai problemi attuali di risparmio energetico.



Figura 5.14 Centro commerciale Torino, rivestito in lastre di ceramica Lamina



Figura 5.15 Ufficio delle imposte di Vimercate (MI), facciata con elementi tronco-conici di cemento fotocatalitico

6

Capitolo 6 – Verifica e controllo del comportamento dinamico di involucri evoluti: esperienze a confronto

6.1 Metodi e procedure di calcolo e controllo del comportamento dinamico degli involucri evoluti

6.1.1 Esperienze internazionali

6.1.2 Esperienze europee

6.1.3 Esperienze italiane

6.2 Considerazioni e valutazioni a partire da un caso studio rilevato di edificio residenziale in Emilia-Romagna

6.2.1 Descrizione e comportamento della soluzione testata

6.2.2 Individuazione delle criticità e ipotesi di intervento

6.3 Prime valutazioni relative al comportamento dinamico di involucri evoluti

6.1 Metodi e procedure di calcolo e controllo del comportamento dinamico degli involucri evoluti

La possibilità di poter verificare e testare le ipotesi formulate rappresenta un grande traguardo per la ricerca: spesso però non risulta possibile. Per mancanza di software avanzati, strumentazioni adeguate, possibilità di rilevamento consistente o mancanza di fondi sufficienti, la ricerca si limita a formulare ipotesi di soluzioni senza un riscontro pratico in merito.

A tal proposito, la presente ricerca si è spinta oltre, basando le proprie teorizzazioni in due ambiti differenti:

- raccogliendo campagne sperimentali e simulazioni virtuali da fonti autorevoli (Università, Laboratori di ricerca, ecc.);
- rielaborando test svolti su di un involucro trasparente su trasparente nel 2004, all'interno della ricerca più vasta relativa agli involucri evoluti a comportamento dinamico, di cui la presente tesi costituisce una parte.

Ecco perché si propongono di seguito esperienze di ricerca portate a termine in altri Dipartimenti internazionali, europei e nazionali.

6.1.1 Esperienze internazionali

A livello internazionale, negli Stati Uniti e in Cina sono state portate a termine importanti ricerche.

L'obiettivo di una ricerca condotta a Singapore dal *Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore*¹, è quello di studiare gli effetti degli involucri evoluti trasparenti, il guadagno di calore solare e quindi la gestione dell'energia all'interno degli edifici. È stata individuata una metodologia sistematica per indagare l'efficacia di tali soluzioni di involucro e per ottenere valori sperimentali per la determinazione del coefficiente di guadagno solare. Le prestazioni di una simile soluzione di involucro sono state analizzate attraverso la trasmissione solare dell'involucro. La ricerca ha ottenuto valori relativi all'apporto solare di un involucro nei quattro orientamenti, Nord, Sud, Est ed Ovest.

I valori osservati sono più significativi per gli orientamenti Est ed Ovest rispetto al Nord o al Sud. Sulla base dei risultati della ricerca è possibile affermare che un involucro di questo tipo produce una sensibile riduzione della trasmissione di calore, fino al 45% (fig. 6.1).

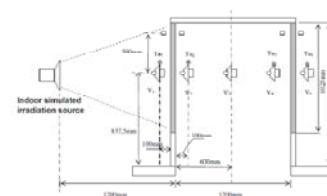


Figura 6.1 Sistema di rilevamento del comportamento di un involucro trasparente su trasparente.

¹ Chou, S.K., Chua, K.J., Ho, J.C., *A study on the effects of double skin façades on the energy management in buildings*, Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore, 2008.

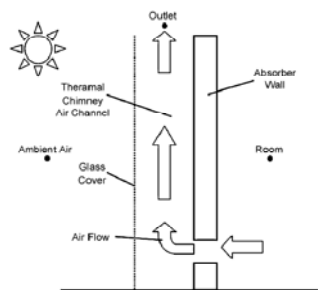


Figura 6.2 Diagramma schematico di un camino solare.

Altri importanti studi sono stati svolti nell'ambito del comportamento della ventilazione naturale prodotta dall'effetto camino di un'intercapedine. È questo il caso di una ricerca dell'*University of California di Berkeley, United States*² (fig. 6.2). Si tratta di prove sperimentali per la simulazione e verifica dei camini termici, attraverso l'impiego del programma *EnergyPlus*. Attraverso questo studio, è stato verificato che l'altezza del camino, la capacità di assorbimento solare e di trasmissione solare sono piuttosto determinanti per la valorizzazione della ventilazione rispetto alla larghezza dell'intercapedine d'aria. È stato indagato l'impatto energetico potenziale di un camino termico in tre diverse condizioni climatiche: utilizzando adeguatamente i camini termici è possibile avere un significativo risparmio energetico in termini di raffrescamento.

Al termine dei rilevamenti sono state elaborate le seguenti conclusioni:

- l'altezza del camino, la capacità di assorbimento solare e di trasmissione solare hanno più influenza sul miglioramento della ventilazione naturale rispetto alla larghezza dell'intercapedine d'aria;
- i camini più elevati con parete dotate di inerzia innescano una ventilazione naturale più cospicua rispetto al resto dell'edificio;
- il confronto tra l'analisi del singolo giorno con la simulazione annuale dimostra la necessità di andare oltre allo stato stazionario per eseguire l'analisi di tipo annuale; solo un'analisi di questo tipo è in grado di fornire una lettura accurata dell'applicabilità di una particolare tecnologia.

6.1.2 Esperienze europee

Diverse esperienze significative sono state oggetto di ricerca in Norvegia e Belgio. Tra queste, la ricerca³ svolta a Trondheim, in Norvegia da *Department of Energy and Process Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, University of Science and Technology, Institute for Architecture and Building Technology* verifica il comportamento di un involucro a doppia pelle di un edificio per uffici. L'obiettivo è quello di confrontare il rendimento energetico dell'edificio con e senza l'applicazione di una doppia pelle (sul fronte est).

L'edificio è stato modellato con il programma di simulazione energetica degli edifici *ESP-r*. Questo studio dimostra che l'applicazione di una doppia pelle, diminuisce la

² Ho Lee, K., Strand, R. K., *Enhancement of natural ventilation in buildings using a thermal chimney*, University of California at Berkeley, University of Illinois at Urbana-Champaign, United States, 2008.

³ Høseggen, R., Wachenfeldt, B.J., Hanssen, S.O. *Building simulation as an assisting tool in decision making, Case study: With or without a double-skin facade?* Department of Energy and Process Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 2007.

domanda di energia di riscaldamento, senza aumentare significativamente il numero di ore con temperature eccessive. I risultati della simulazione indicano che, per il riscaldamento, la domanda è di circa il 20% più elevata per un involucro tradizionale rispetto ad un involucro di tipo evoluto.

Inoltre è verificato che possono essere ottenuti ulteriori risparmi utilizzando la cavità della doppia pelle per ottenere un pre-riscaldamento dell'aria di alimentazione dell'impianto. Tuttavia, le simulazioni dimostrano che devono essere trovate strategie ottimali per evitare perdite di calore dagli uffici, che non possono essere utilizzati nella fase di pre-riscaldamento dell'aria di alimentazione.

Dal punto di vista economico, sostituendo le finestre standard con finestre a trasmittanza migliorata, la differenza tra la domanda di riscaldamento (su base annua) nei due casi è quasi appianata. Questa alternativa dimostra che la prospettiva di impiego e guadagno per sistemi del genere è a lungo termine (circa 35 anni).

Rimanendo sempre nell'ambito dei sistemi completamente vetrati, risulta piuttosto significativa la ricerca svolta in Belgio⁴ presso l'*Université Catholique de Louvain*, Architecture et Climat, ricerca iniziata nel 2002.

Si tratta di un edificio per uffici con doppio affaccio, in cui i moduli allineati sulle due facciate sono separati da un corridoio centrale, con scala e locali di servizio formando 150 moduli, distribuiti su 5 piani. L'involucro è stato verificato con *TAS*: pacchetto software per l'analisi termica di edifici, *TAS* include un modellatore 3D e un modulo di analisi termico/energetico. Si tratta di una soluzione completa per la simulazione termica di un edificio, uno strumento per l'ottimizzazione ambientale ed energetica e per la verifica delle prestazioni di comfort. Durante le prime sperimentazioni, risalenti appunto al 2002, per questo studio, è stata scelta una giornata di sole estivo (luglio 24). L'unico accorgimento di tipo dinamico prevedeva la simulazione dei 10 giorni precedenti per tener conto della effetto dell'inerzia. È stato poi successivamente valutato di verificare il comportamento dell'involucro in un giorno tipo di ogni mese, prendendo i dati climatici rappresentativi di ciascun mese e per tre diversi tipi di cielo:

- condizioni di cielo sereno;
- medie condizioni di cielo;
- condizioni di cielo nuvoloso.

⁴ Gratia, E., De Herde, A., *Are energy consumptions decreased with the addition of a double-skin?* Université Catholique de Louvain, Architecture et Climat, Louvain-La-Neuve, Belgium, 2006.

Le simulazioni sono state svolte perciò per 36 giorni. Questo studio ha permesso principalmente di valutare l'impatto di un involucro trasparente su trasparente relativo ai consumi di energia, secondo l'orientamento dell'edificio, per tre diversi livelli di isolamento (involucro ben isolato, moderatamente isolato e non isolato). La presenza o meno di un involucro evoluto trasparente ha un notevole impatto sui consumi di energia. La ricerca ha però dimostrato che gli effetti di un involucro del genere non sono ancora sufficientemente vantaggiosi come quelli ottenuti tramite ad esempio l'uso di strategie naturali oppure buoni livelli di isolamento.

L'uso di strategie naturali, ad esempio, riduce i costi energetici dal 61% al 67% se l'edificio è ben isolato; dal 46% al 57% se l'edificio è moderatamente isolato; dal 11% al 27% se l'edificio non è isolato.

Tale diminuzione del costo proviene quasi esclusivamente dall'applicazione delle strategie di raffreddamento naturale e quindi della diminuzione del consumo per raffrescamento.

Il livello di isolamento, invece, agisce principalmente sul consumo di riscaldamento.

Un edificio non isolato prevede una richiesta tre volte superiore rispetto ad un altro edificio moderatamente isolato. Uno invece ben coibentato prevede una domanda di riscaldamento inferiore di un ulteriore 40% di uno isolato moderatamente.

L'impiego di una doppia pelle provoca sempre un aumento dei carichi di raffreddamento, ma favorisce notevolmente l'apporto di calore invernale. Se le strategie di ventilazione naturale non fossero applicate, il costo energetico dell'edificio in cui è impiegata la doppia pelle sarebbe più significativa. Si riporta un interessante schema, che fornisce indicazioni utili alla progettazione degli involucri evoluti a comportamento dinamico, per orientamenti nord e sud (fig. 6.3 e 6.4).

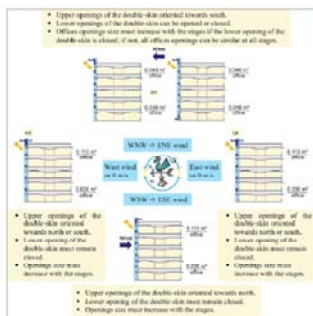


Figura 6.3 Linee guida per la progettazione di ventilazione trasversale di un edificio con doppia pelle applicata a sud.

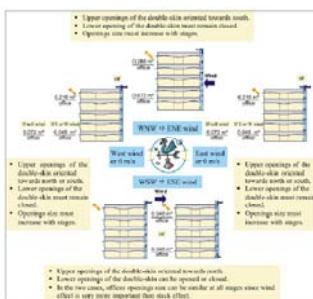


Figura 6.4 Linee guida per la progettazione di ventilazione trasversale di un edificio con doppia pelle applicata a nord.

6.1.3 Esperienze italiane

Negli ultimi trent'anni, le applicazioni e lo studio teorico e sperimentale della ventilazione nei suoi diversi aspetti hanno rappresentato uno dei settori più attivi dell'HVAC (Heating Ventilation Air Conditioning). La valutazione scientifica dell'efficacia del contributo di questi sistemi nel bilancio termico dell'edificio risulta comunque piuttosto complessa: diverse prove sono state effettuate al riguardo, testando la ventilazione sia su involucri costruiti e funzionanti, sia su modelli di simulazione virtuali (Computational Fluid Dynamics). La simulazione numerica, infatti, permette di studiare il comportamento dei diversi sistemi, ottimizzandone le prestazioni, verificando in maniera parametrica l'influenza delle diverse condizioni al contorno e di funzionamento. Si riscontra però ancora una carenza di dati sperimentali e di sistemi di calcolo consolidati per la valutazione di una condizione

ad assetto dinamico come quella della facciata ventilata. La problematica, in primo luogo, rimane quella della scelta dei parametri e dei coefficienti da utilizzare in relazione alle condizioni dinamiche. La maggior parte delle valutazioni avviene sperimentalmente, attraverso modelli costruiti in laboratorio o basandosi su parametri costruttivi (dimensione dell'intercapedine, altezza della facciata) consolidati dall'esperienza. Una di queste valutazioni è stata svolta dal *Dipartimento di Energetica della Facoltà di Ingegneria di Firenze*, in collaborazione con una prestigiosa azienda, produttrice di doppie pelli vetrate (*Permasteelisa*⁵).

Nella suddetta ricerca⁶, viene approfondito il tema dell'analisi adimensionale, proposta come metodo per verificare la ventilazione meccanica negli involucri con doppie vetrate. I 12 parametri adimensionali definiti, possono essere usati per descrivere l'energia termica e le prestazioni di servizi interattivi. Nella seguente tabella vengono riportati i parametri messi in campo (fig.6.5).

È chiaro che l'interpretazione dei risultati di un così complesso calcolo, non è di immediata comprensione: semplificando la procedura è però possibile ottenere qualche dato significativo. I dati sperimentali consentono di affermare che, in media, la velocità dell'aria all'interno dell'intercapedine varia tra 0,21m/s e 0,3 m/s per una facciata a celle, tra 0,7m/s e 0,9 m/s per una facciata a tutta superficie⁷ (fig. 6.6). Per poter sfruttare al meglio la velocità dell'aria all'interno dell'intercapedine, è dimostrato che i sistemi di ventilazione localizzati⁸, che hanno avuto origine e diffusione in campo industriale, ma che stanno avendo nuove e specifiche forme di diffusione in altri contesti, svolgono un ruolo determinante. D'altra parte, un ruolo altrettanto importante nel miglioramento delle prestazioni energetiche dei sistemi di ventilazione può essere giocato dai dispositivi di recupero energetico, grazie ai quali gran parte dell'energia che verrebbe dispersa con le portate in espulsione viene recuperata, realizzando uno scambio termico con le portate di rinnovo.

Un'altra ricerca che integra sistemi completamente trasparenti a sistemi vetrati è quella svolta presso il *Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli*

Nomenclature	
c	specific heat (J/kg K)
D	equivalent diameter (m)
f_{air}	parameter
g	acceleration of gravity (m/s^2)
h	convective coefficient ($\text{W/m}^2 \text{K}$)
h_r	radiative coefficient ($\text{W/m}^2 \text{K}$)
H	height (m)
I	solar radiation flux (W/m^2)
J	specific enthalpy (J/kg)
k	thermal conductivity (W/mK)
L	cavity width (m)
m	air mass (kg)
\dot{m}	mass flow (kg/s)
n	constant Eq. (8)
Nu	Nusselt number
Pr	Prandtl number
Q	average heat flux (W/m^2)
r^2	correlation coefficient
Ra	Rayleigh number
Re	Reynolds number
e	thickness (m)
S	control volume surface section (m^2)
t	temperature ($^{\circ}\text{C}$)
T	temperature (K)
U	overall heat exchange coefficient of the wall ($\text{W/m}^2 \text{K}$)
v	mean air velocity (m/s)
Δx	iterative procedure step
Greek letters	
α	absorbing coefficient
γ	air conductivity (W/mK)
ϵ	roughness
λ	friction factor Eq. (7)
μ	air viscosity (Pa.s)
ρ	air density (kg/m^3)
Subscripts	
a	dry air
be	external spherical-granite layer to the outside
amb	ambient
bi	internal spherical-granite layer to the channel
e	external
i	internal or internal ambient
in	inlet of the channel
l	laminar
ma	air mass in the channel
p	pressure
sk	sky
sur-a	solar-air temperature
t	turbulent
Tb	spherical-granite panel thickness
v	wind speed
w	wall

Figura 6.5 elenco dei parametri da considerare per un'analisi adimensionale

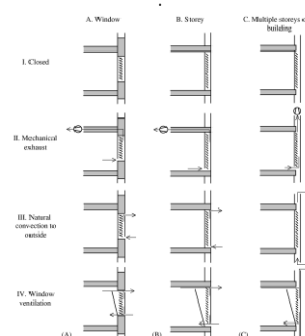


Figura 6.6 Classificazione delle doppie pelli secondo Heusler e Compagno.

⁵ Research and Engineering, Permasteelisa, Vendemiano (TV).

⁶ Balocco, C., Colombari, M., *Thermal behaviour of interactive mechanically ventilated double glazed facade: non dimensional analysis*, Dipartimento di Energetica di Firenze, 2005.

⁷ La scelta di classificare gli involucri con ventilazione in tre distinte categorie è confermata anche da studi europei, quali ad esempio quelli svolti da Heusler e Compagno, *Multi skin facade*, German, 1998

⁸ Tra questi sistemi si possono elencare: *local ventilation*, *task ventilation*, *personal ventilation*.



Figura 6.7 Configurazione estiva ed invernale della doppia pelle testata.

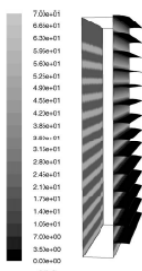


Figura 6.8 Radiazione solare visibile assorbita.

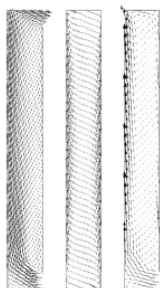


Figura 6.9 Analisi della velocità dei vettori della ventilazione naturale.

*Studi di Perugia*⁹. In tale ricerca viene presentata l'analisi di una facciata doppia pelle di vetro dotata di dispositivi integrati di ombreggiamento mobili¹⁰ (fig. 6.7), che utilizzano tre diversi livelli di modellazione: ottica dei materiali (fig. 6.8), fluidodinamica della facciata (fig. 6.9) e l'equilibrio energetico degli edifici. L'obiettivo è quello di ottimizzare sia d'inverno che d'estate la prestazione energetica. Il modello è stato sviluppato per una facciata orientata verso sud e tenendo conto dei dati climatici del centro Italia e il percorso della radiazione solare con le sue riflessioni multiple in diverse direzioni attraverso il metodo di *ray tracing*. Le simulazioni dimostrano che in inverno la configurazione della facciata proposta consente un soddisfacente guadagno di calore solare, nonostante la presenza di sistemi di ombreggiatura. In estate, il calore solare viene assorbito prevalentemente dalla parte esterna, e anche se si verifica una naturale convezione, non vi è alcuna influenza significativa sulla pelle interna riducendo in tal modo la richiesta di raffrescamento per l'edificio. Le prestazioni della facciata sono state confrontate con involucri tradizionali: i risultati dimostrano che durante tutto l'anno, la facciata proposta migliora in modo significativo il comportamento energetico degli edifici.

L'analisi energetica ha sottolineato inoltre l'effetto delle proprietà spettrali di ogni componente: l'alta riflessione dei frangisole consente un guadagno soddisfacente solare in inverno e una notevole riduzione del carico di raffreddamento in estate. Dalla simulazione delle prestazioni per la configurazione invernale (frangisole chiuso) è emerso che il flusso all'interno dell'intercapedine produce il doppio effetto benefico di ridurre la dispersione di calore attraverso pareti esterne e preriscaldare l'aria per la ventilazione. Le simulazioni estive mostrano un buon comportamento del sistema dovuto al contributo di ombreggiamento e alla possibilità di aprire il sistema, configurazione questa che è in grado di evitare il surriscaldamento. Le prestazioni della facciata sono state confrontate con sistemi tradizionali: i risultati hanno mostrato che in tutto l'anno la facciata proposta migliora in modo

⁹ Baldinelli, G., *Double skin façades for warm climate regions: Analysis of a solution with an integrated movable shading system*, Department of Industrial Engineering, University of Perugia, Italy, 2008

¹⁰ La soluzione analizzata consiste in un sistema integrato di dispositivo di vetro-shading, che permette di beneficiare dei propri vantaggi sia in inverno che in estate. Se l'edificio è situato nell'emisfero settentrionale (il contrario avviene nell'emisfero meridionale), il sistema è efficace se la facciata è esposta a sud. La pelle esterna è delimitata da un vetro stratificato (due strati di 5 mm di vetro float divisi da un 0,37 mm film di polivinile butirale) accoppiato con un frangisole in alluminio anodizzato, una lega che combina una buona resistenza meccanica con proprietà con una densità relativamente bassa e una prestazione eccellente contro gli agenti atmosferici. La pelle interna deve essere smaltata od opaca. La soluzione studiata è costituita da superfici trasparenti assemblate con l'accoppiamento del vetro stratificato stesso utilizzato per lo strato più esterno 4 mm di vetro float, i due vetri sono divisi da un 10 mm d'intercapedine d'aria.

significativo il comportamento energetico degli edifici, in particolare quando, in inverno, si innesca la configurazione a convezione forzata. Il confronto con pareti opache ha mostrato un risparmio energetico fino a 60 kWh all'anno per metro quadrato di facciata. È però ipotizzabile che la soluzione di facciata analizzata preveda una progettazione dettagliata caso per caso e un aumento dei costi di investimento, rendendo difficile una diffusione ampia e veloce. Devono, inoltre, essere presi in considerazione successivi costi dovuti alla manutenzione, soprattutto se il meccanismo di movimento è automatico.

Un ambito significativo di impiego per gli involucri evoluti a comportamento dinamico è rappresentato dall'intervento sull'esistente. Vi è una sentita discussione su come migliorare le performance energetiche di edifici appartenenti alla cosiddetta archeologia industriale e quali potrebbero essere le scelte migliori per il loro ri-uso sostenibile. La ricerca del *Dipartimento di Architettura e Urbanistica e del Dipartimento di Fisica Tecnica dell'Università degli Studi di Padova*¹¹ considera un caso studio per indagare la possibilità di applicazione di sistemi solari passivi, in clima Mediterraneo in un opificio (fig.6.10 e 6.11) dismesso, con particolare riferimento a facciate a doppia pelle e ventilazione naturale, attraverso simulazioni dinamiche svolte TRNSYS¹² e LOOPDA¹³ modelli.

Il progetto si basa sull'applicazione di una seconda pelle in vetro giustapposta all'involucro esistente opaco, su una porzione del prospetto sud-ovest (corrispondente all'ingresso dell'edificio). L'intercapedine di aria è di 0,65 m.

L'analisi termica delle risorse naturali edifici ventilati può essere calcolata facilmente combinando i due programmi sopra menzionati. La velocità e l'orientamento del vento influenza ampiamente il flusso d'aria all'interno dell'edificio, la regolamentazione della ventilazione naturale trasversale risulta più facile e più efficace se il vento va in direzione opposta alla doppia pelle. I flussi d'aria esterna attraverso le aperture della parete sul prospetto Nord-Est sono maggiormente influenzate dal vento: forniscono perciò un ricambio d'aria pressoché costante durante il giorno. I flussi d'aria attraverso le aperture a Sud-Ovest, invece, sono influenzati più dall'effetto camino e dalla differenza di temperatura tra l'involucro e l'esterno. Per questo motivo l'analisi dimostra che in



Figura 6.10 Prospetto sud-ovest dell'edificio esistente.

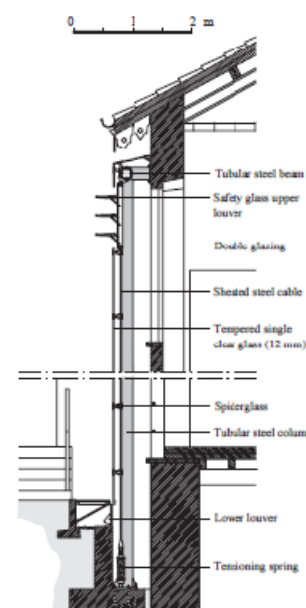


Figura 6.11 Sezione verticale della doppia pelle.

¹¹ Ballestini, G., De Carli, M., Masiero, N., Tombola, G., *Possibilities and limitations of natural ventilation in restored industrial archaeology buildings with a double-skin fac-ade in Mediterranean climates*, Dipartimento di Architettura e Urbanistica, Dipartimento di Fisica Tecnica, Università degli Studi di Padova, 2004

¹² Software progettato per simulare le prestazioni dei sistemi transitori dell'energia termica scambiata negli edifici.

¹³ Software di simulazione e verifica dei sistemi di ventilazione naturale per gli edifici.

corrispondenza di alcuni particolari periodi dell'estate (quando, cioè, la temperatura dell'intercapedine d'aria è simile a quella al di fuori), potrebbe verificarsi una diminuzione notevole del flusso d'aria nella doppia pelle.

L'involucro con intercapedine è solitamente orientato a Sud, mentre il lato Ovest è considerato critico, soprattutto in estate. Nell'edificio analizzato, la seconda pelle è in facciata sud-ovest; durante la stagione fredda il fabbisogno di energia per il riscaldamento diminuisce significativamente evitando al contempo problemi di surriscaldamento durante il periodo estivo. Per semplificare la regolazione delle aperture sono state considerate solo due possibilità di movimentazione. È possibile osservare un buon livello di ricambio d'aria, che può essere ottenuto anche se le dimensioni di queste aperture sono piccole. L'esistente effetto camino dovuto alla conformazione del tetto contribuisce notevolmente ad ottenere i necessari flussi d'aria per superare eventuali pressioni negative sulle aperture sottovento dell'intercapedine.

Nella stagione di riscaldamento tre diversi flussi sono coinvolti: il primo è dovuto all'aria esterna entrante che in grado di riscaldare l'intercapedine e di passare poi all'interno dei vani; il secondo è rappresentato dai flussi d'aria esterni entranti dalle aperture poste a Nord-Est; il terzo è rappresentato dall'aria interna che entra nell'intercapedine tramite le aperture poste a Sud-Ovest.

Durante il periodo estivo, le griglie di ventilazione superiori ed inferiori garantiscono il necessario ricambio d'aria nell'intercapedine, evitando così un surriscaldamento eccessivo, dovuto all'effetto serra.

Anche la pressione negativa creata dall'effetto camino all'interno dell'intercapedine permette la ventilazione.

Come negli studi precedenti, anche in questo si evidenziano alcuni svantaggi relativi all'aspetto economico: i costi di investimento risultano infatti piuttosto elevati (circa 500 €/m²); inoltre devono essere previste spese per la manutenzione e la pulizia. I risultati della ricerca però evidenziano che la soluzione di involucro evoluto trasparente su opaco può essere valida anche nella ristrutturazione edilizia, in quanto è ben noto che l'intervento su fabbriche dismesse potrebbe essere difficile e costoso: per poter salvaguardare questi edifici dall'abbandono o dalla completa demolizione, pur mantenendo una buona abitabilità interna, è possibile impiegare soluzioni come quella proposta evitando allo stesso tempo, di alterarne la peculiari caratteristiche architettoniche dell'edificio.

L'utilizzo di involucri opaco su opaco possono contribuire a ridurre i carichi termici estivi e, di conseguenza, il consumo di energia per gli impianti di condizionamento.

Una ricerca¹⁴ del *Dipartimento di Energetica "L. Poggi", della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Pisa* analizza un semplice metodo per il calcolo del risparmio energetico ottenibile utilizzando facciate ventilate in cui il flusso d'aria all'interno del condotto d'aria è dovuto all'effetto camino. Due casi particolari sono stati indagati. Nel primo la parete interna è in muratura e le configurazioni dell'intercapedine e della pelle esterna devono essere progettate e verificate; nel secondo il fronte esterno è dato e la muratura interna e il canale d'aria devono essere progettati. Il primo caso può verificarsi in edifici già esistenti di ristrutturazione, mentre il secondo può verificarsi durante il processo di progettazione di nuovi edifici.

I risultati ottenuti possono essere riassunti nei seguenti punti:

- in entrambi i casi, il risparmio energetico è dipendente dall'aumento della larghezza del condotto dell'aria; un tale incremento risulta essere particolarmente significativo quando l'intercapedine è superiore a 15 cm;
- la disposizione dello strato isolante all'interno del condotto dell'aria, vicino alla parete interna in muratura, può non essere la più efficiente. È possibile ottenere un livello ottimale d'isolamento tra la parete interna in muratura e la facciata esterna: il posizionamento dell'isolante interno alla muratura (pelle interna) è più efficiente di quello vicino all'esterno;
- un incremento del risparmio energetico aumenta notevolmente con l'aumentare dell'intensità della radiazione solare. Le facciate in cui il fronte esterno è costituito da materiale riflettente (acciai speciali, leghe di titanio, ecc) riduce fortemente l'influenza della radiazione solare, tale ipotesi potrebbe essere considerata come un'alternativa alla facciata ventilata;
- il risparmio di energia aumenta sensibilmente quando diminuisce la differenza tra la temperatura interna ed esterna;
- l'uso di facciate ventilate accuratamente progettate consente, nel raffrescamento estivo degli edifici, un risparmio energetico anche superiore al 40%;
- il risparmio energetico è notevolmente influenzato dal valore di resistenza termica della superficie esterna e dalla relativa rugosità delle lastre che delimitano il condotto dell'aria.

Tali parametri, pertanto, richiedono una valutazione accurata.

¹⁴ Ciampi, M., Leccese, F., Tuoni, G., *Ventilated facades energy performance in summer cooling of buildings*, Dipartimento di Energetica "L. Poggi", Facoltà di Ingegneria, Università di Pisa, 2003.

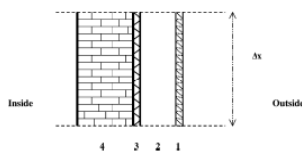


Figura 6.12 Sezione schematica di una facciata ventilata.

Infine si riportano i risultati di una ricerca¹⁵ svolta presso *Dipartimento di Energetica "S. Stecco" dell'Università degli Studi di Firenze* che tratta di sistemi ventilati opachi. Lo scopo della ricerca è quello di individuare un semplice e utile strumento per lo studio della performance energetica di differenti tipologie di facciate ventilate: i risultati, ottenuti tramite l'applicazione di un modello di calcolo basato su uno schema tipo di facciata ventilata (fig. 6.12), mostrano che è possibile ottenere un riscaldamento dell'intercapedine con spessori della cavità d'aria maggiori di 7 cm. È possibile ottenere una riduzione del surriscaldamento estivo pari al 27,5%, dovuto alla radiazione incidente solare sul prospetto sud, attraverso intercapedini di 35 cm, in confronto ad una riduzione del solo 7% per intercapedini di 7 cm. Intercapedini di 5 cm, invece, corrispondono ad una situazione di aria pressoché ferma. In linea generale, è verificato che è possibile ottenere effetti considerevoli con intercapedini di 10-15 cm.

6.2 Considerazioni e valutazioni a partire da un caso studio rilevato di edificio residenziale in Emilia-Romagna

Si riporta in questo paragrafo l'analisi, svolta tra il 2003 e il 2004, delle prestazioni dell'involucro trasparente su trasparente applicato nell'edificio residenziale per anziani "Condominio solidale", costruito a Imola (BO) nel 1998. L'analisi comprende la verifica termofisica dell'involucro. Le indagini svolte hanno permesso di identificare le prestazioni offerte dai diversi elementi che compongono il sistema e di comprendere come questi, nella loro configurazione d'insieme influiscono positivamente o negativamente sul rendimento complessivo dell'involucro: le informazioni acquisite hanno offerto interessanti indicazioni di carattere progettuale, utili alla revisione delle definizioni e dei criteri anche per le altre famiglie di involucro diverse da quella trasparente su trasparente¹⁶.

¹⁵ Balocco, C., *A simple model to study ventilated facades energy performance*, Dipartimento di Energetica "S. Stecco", Università degli Studi di Firenze, 2001.

¹⁶ Cinti, S., *Le facciate doppia pelle in Italia, Verifica di applicabilità dei sistemi vetro-vetro*, tesi di Dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura, Università degli Studi di Ferrara - Facoltà di Architettura, Istituto IUAV - Facoltà di Architettura, Ferrara, 2004.

6.2.1 Descrizione e comportamento della soluzione testata

L'edificio, di proprietà del Comune di Imola, è destinato ad alloggi per persone anziane. Il fabbricato è organizzato su tre piani fuori terra ed un piano interrato¹⁷. *Descrizione della facciata*

Chiusure esterne realizzate con facciate vetrate sono collocate lungo diversi prospetti dell'edificio; a est è applicata una facciata continua strutturale. Lungo i prospetti sud/ovest e sud/est sono applicate due facciate a doppia pelle che illuminano gli spazi di circolazione e collegamento alle unità residenziali.

Le facciate a doppia pelle in vetro sono collocate ad ogni piano dell'edificio lungo i prospetti sud/est e sud/ovest. Si tratta di applicazioni che non coinvolgono tutta la facciata, ma solamente porzioni di quest'ultima, situate direttamente in corrispondenza di posizioni in cui i vani (disimpegni) si ampliano per dare spazio ad aree collettive di sosta. La facciata sud/ovest presenta uno sviluppo inferiore rispetto a quello della facciata sud/est. Le facciate sono del tipo a canali orizzontali, dove ad ogni canale corrisponde un piano dell'edificio ed un'unità di ventilazione indipendente.

La direzione di ventilazione è del tipo misto, con l'intercapedine direttamente collegata sia con l'esterno che con l'interno del fabbricato; la ventilazione naturale dell'intercapedine può essere potenziata con un impianto meccanico.

La pelle esterna è costituita da una facciata continua strutturale, non a taglio termico, direttamente fissata alle solette di interpiano dell'edificio. Il tamponamento è composto da lastre semplici di vetro stratificato, temprato, debolmente riflettente, dello spessore complessivo di 8 mm.

La pelle interna, collocata a 270 mm dalla pelle esterna, è costituita da una facciata continua tradizionale, realizzata con un infisso in alluminio a taglio termico fissato all'intradosso e all'estradosso dei solai. Il tamponamento della facciata interna è definito, nella porzione mediana della facciata, da un vetro isolante composto da due lastre float trasparenti, non trattate e non lavorate superficialmente; nella porzione inferiore e superiore della facciata, invece, il tamponamento è costituito da pannelli opachi di materiale isolante, rivestiti in lamiera di alluminio. La

¹⁷ Il piano interrato è riservato a garages e cantine ad uso dei residenti e del personale di servizio. I piani fuori terra sono destinati ad appartamenti. In ogni piano, oltre alle unità residenziali sono presenti le unità ambientali attribuite ad attività specialistiche dedicate agli anziani. La struttura portante dell'edificio è di tipo a telaio in cemento armato, con solai d'interpiano e di chiusura superiore in latero-cemento. La chiusura verticale esterna è realizzata, per gran parte della sua superficie, in muratura multistrato in laterizio.

compartimentazione orizzontale dell'intercapedine è ottenuta tramite l'aggetto dei solai dell'edificio rispetto alla pelle interna dell'involucro¹⁸.

Lo schema generale di funzionamento dell'involucro prevede che le ventole, azionate dai motori elettrici, aspirino aria dall'intercapedine e la riversino verso l'interno o verso l'esterno dell'edificio. La rotazione, in senso orario o antiorario, delle pale del ventilatore definisce la direzione di ventilazione¹⁹.

Analisi termofisica

Per cinque mesi (da settembre 2003 a gennaio 2004) è stata effettuata una campagna di misurazioni sperimentali sulla facciata sud/ovest, nel modulo di involucro applicato al piano primo del fabbricato. Durante il periodo di misurazione sono state costantemente rilevate le temperature dell'involucro, dell'aria esterna e dell'aria interna (aria del vano antistante la facciata); in particolare, nell'involucro sono state rilevate le temperature dell'aria di intercapedine e delle superfici, interne ed esterne, delle due pelli. Obiettivo principale delle rilevazioni riguardava la definizione, in termini quantitativi e qualitativi, delle prestazioni reali della facciata in condizioni di esercizio e secondo le possibili configurazioni del sistema tecnologico (da adeguare al variare delle condizioni ambientali esterne).

¹⁸ La pelle esterna, nei moduli centrali dell'involucro, è interrotta, superiormente ed inferiormente, da elementi grigliati atti a consentire la ventilazione dell'intercapedine. La ventilazione di quest'ultima è di tipo continuo; a tale definizione corrisponde un sistema di facciata in cui non risulta possibile impedire la continuità fisica tra l'aria esterna e quella di intercapedine attraverso una configurazione variabile delle griglie.

In facciata esterna le griglie inferiori sono collocate al di sopra del livello del solaio di interpiano e sostituiscono un modulo di lastra esterna vetrata; sono realizzate con pannelli di lamiera tagliata e presso-piegata, delle dimensioni di mm 890 (lunghezza) per mm 430 (altezza).

Le griglie superiori sono applicate, nella medesima posizione, sia sulla pelle esterna che sulla pelle interna dell'involucro; sono costituite da pannelli in plastica posizionati in modo tale da concludere le due estremità di un elemento tubolare in pvc (di forma cilindrica) collocato trasversalmente nell'intercapedine. Il tubo unisce le due facciate, collegando i vani interni con l'esterno e, grazie alla presenza di fori praticati lungo il suo sviluppo inferiore, con l'intercapedine. La lunghezza dell'elemento tubolare coincide, quindi, con la profondità dell'intercapedine.

Nel pannello interno è inserito un ventilatore meccanico le cui ventole, posizionate in corrispondenza del tubo, dirigono l'aria in esso contenuta (proveniente dall'intercapedine) verso il vano o verso l'ambiente esterno.

Ogni modulo di ventilazione della facciata sud/ovest è composto da un solo sistema ventilante, ovvero una griglia inferiore, una doppia griglia superiore (interna ed esterna) e un ventilatore, collocato nella parte alta dell'intercapedine.

¹⁹ Secondo la configurazione prevista in sede progettuale, tale operazione dovrebbe essere disposta automaticamente attraverso un software estremamente semplice che regola la direzione e la velocità di moto della ventola in funzione delle temperature rilevate nella camera d'aria; ad esempio, se nella stagione estiva le temperature sono comprese tra 18° e 23° le ventole dirigono l'aria di intercapedine verso l'interno, mentre se le temperature sono superiori a 23° la dirigono verso l'esterno dell'involucro. In condizioni invernali le ventole non vengono azionate. Il software non è mai stato installato e l'azionamento del ventilatore viene effettuato manualmente. Direzione ed intensità di ventilazione vengono disposte direttamente dall'utenza al momento dell'accensione del ventilatore.

La strumentazione utilizzata è costituita da:

- *strumentazione per il rilievo della temperatura*, composta da n.16 termocoppie ed un voltmetro. Il principio di funzionamento delle termocoppie si basa sulla differenza di potenziale che si crea, al passaggio di corrente elettrica, nei punti di contatto tra i due fili; tale differenza varia in funzione della temperatura. Il voltmetro misura l'intensità della differenza di potenziale prodotta da ogni termocoppia.
- *strumentazione di acquisizione ed elaborazione dei dati di rilievo (software Labview Express)*, si tratta di un software che acquisisce i dati rilevati dal voltmetro e li trasforma in valori di temperatura. Costantemente, con intervalli di 5 minuti, il programma rileva e registra le temperature di ogni termocoppia;
- *strumentazione per la visualizzazione ragionata dei dati acquisiti (programma di calcolo Microsoft Excel)*, i dati registrati dal programma Labview Express vengono visualizzati, attraverso un semplice foglio di calcolo, in forma di grafico per evidenziare, secondo specifici filtri di analisi, le temperature rilevate dalle termocoppie nelle diverse configurazioni di involucro.

Si riporta di seguito un veloce estratto delle informazioni ricavate dalle analisi termofisiche, organizzate in funzione del periodo climatico durante il quale sono state effettuate.

La configurazione dell'involucro prevedeva le griglie esterne, inferiore e superiore, aperte; la griglia superiore interna chiusa²⁰, la veneziana alzata e il ventilatore spento per i grafici 6.1 e 6.2; ventilatore acceso per il grafico 6.3.

1. *Analisi del grafico generale 6.1, settembre 2003*: lo sviluppo complessivo delle curve presenti nel grafico rileva la variazione dell'irraggiamento solare sull'involucro. I picchi di elevata temperatura, misurati sulla doppia pelle, corrispondono alle ore centrali della giornata in cui i raggi solari colpiscono direttamente la facciata. Le temperature rilevate dalle termocoppie collocate nell'intercapedine e sulla superficie della facciata esterna si innalzano notevolmente durante le ore di maggiore irraggiamento solare e superano quelle dell'aria esterna anche di 30°C. Ad una temperatura dell'aria esterna di circa 27°C corrisponde, infatti, una temperatura misurata dell'aria di intercapedine che oltrepassa i 50°C.

Rilevo delle prestazioni in condizione estiva

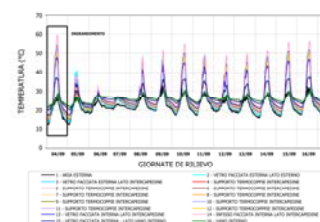


Grafico 6.1 Grafico generale di rilievo delle prestazioni dell'involucro in condizione estiva.

²⁰ In realtà, data la conformazione fisica della griglia, una ridotta quantità di aria entra nel vano.

Nelle ore in cui l'involucro è in ombra, le temperature misurate sulle facciate e nell'intercapedine si abbassano fino a raggiungere valori minimi; questi ultimi, corrispondenti al periodo notturno, si avvicinano sensibilmente alle temperature rilevate contemporaneamente all'esterno. In assenza di irraggiamento solare diretto sull'involucro, quando il cielo è uniformemente coperto le temperature misurate sulla facciata e nell'intercapedine risultano intermedie tra l'aria esterna e quelle del vano interno. L'unica eccezione nel movimento delle linee del grafico è costituita dalla curva dalle temperature rilevate nel vano interno (termocoppia n. 16); tali temperature risultano sempre superiori a quelle dell'aria esterna e sostanzialmente costanti per tutta la durata delle misurazioni, con ridotte oscillazioni tra il giorno e la notte. Gli unici periodi in cui le temperature dell'aria esterna e dell'aria interna si avvicinano tra loro sono costituiti dalle ore della giornata corrispondenti all'intervallo di massimo irraggiamento solare sulla facciata (quando le temperature dell'aria di intercapedine raggiungono i 50°C); in questo breve periodo, l'aria interna presenta valori di temperatura superiori di alcuni gradi rispetto a quelli dell'aria esterna, ma assolutamente lontani dai valori misurati nell'intercapedine.

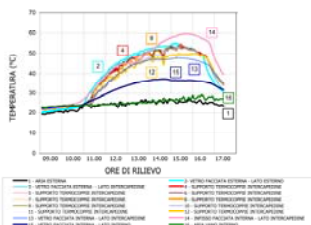


Grafico 6.2 Grafico di rilievo delle prestazioni dell'involucro nella giornata del 4 settembre 2003.

2. *Analisi del grafico 6.2, ingrandimento A:* il grafico mostra le condizioni di temperatura rilevate nell'involucro durante le ore di maggiore irraggiamento solare il giorno 4 settembre 2003. In particolare, l'analisi del grafico a grande scala, permette una migliore osservazione delle variazioni di temperatura nel periodo più critico per l'involucro, ovvero quando i raggi solari, ad elevata intensità, colpiscono direttamente la facciata. Il primo evidente dato di rilievo è offerto dalle temperature misurate nell'intercapedine e sulle superfici delle due facciate rivolte verso lo spazio compreso tra le due pelli. L'andamento delle temperature misurate nell'intercapedine risulta inverso rispetto a quello delle temperature misurate durante le ore di massimo irraggiamento; ovvero, l'aria è più calda in prossimità della facciata interna ed è più fredda in prossimità della facciata esterna (come evidenziato dalle curve durante l'intervallo di ore che va dalle 9.00 alle 11.00). Il secondo evidente dato da rilevare è invece offerto dalla differenza di temperatura misurata tra l'aria esterna e l'aria del vano interno durante le ore di maggiore irraggiamento; tale valore, nonostante la mancanza delle veneziane e il sole diretto sulla

facciata interna della doppia pelle, risulta minimo, dimostrando una quasi totale assenza dell'effetto serra.

3. *Analisi del grafico 6.3:* il grafico mostra, a grande scala, l'andamento delle temperature misurate dalle termocoppie durante le ore di maggiore irraggiamento solare nella giornata del 3 settembre. In questo grafico si riporta il comportamento dell'involucro nelle condizioni in cui viene azionata la ventilazione meccanica dell'aria di intercapedine; il ventilatore aspira l'aria presente tra le due facciate e la espelle direttamente all'esterno dell'edificio. Dall'analisi del grafico, nell'intervallo di tempo coincidente con il ventilatore acceso, si osserva che le temperature rilevate dalla termocoppia collocata sul supporto posizionato nell'intercapedine si abbassano velocemente, risultando sostanzialmente costanti per tutto l'intervallo di tempo in cui il ventilatore è azionato; le temperature relative al vetro della facciata interna - lato vano rimangono basse, soprattutto se paragonate a quelle rilevate nelle giornate con medesime condizioni di irraggiamento ma in assenza di ventilazione meccanica; le temperature relative all'aria del vano si mantengono inalterate per tutto il periodo di irraggiamento del sole sull'involucro e, per le ore più calde della giornata, addirittura inferiori rispetto a quelle dell'aria esterna.

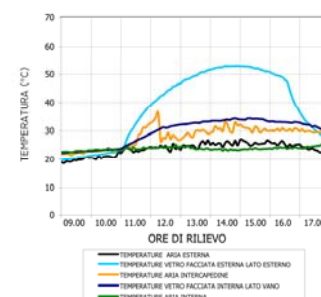


Grafico 6.3 Grafico di rilievo delle prestazioni dell'involucro nella giornata del 3 settembre 2003.

L'involucro presenta la griglia esterna inferiore costantemente aperta, la griglia esterna superiore tamponata con un pannello isolante, la griglia superiore interna aperta, la veneziana alzata e il ventilatore spento per i grafici 6.4 e 6.5 e acceso per il grafico 6.6.

1. *Analisi dei grafici 6.4 e 6.5 Ottobre 2003:* dall'analisi dei grafici si evidenzia un sensibile calo delle temperature esterne, anche durante le ore di massimo irraggiamento solare, contrapposto ad un costante andamento delle temperature interne²¹. I rilievi segnalano la presenza di un numero minore di giornate con cielo sereno rispetto al mese di settembre. Nelle giornate soleggiate, quando i raggi solari colpiscono direttamente l'involucro, le temperature rilevate nell'intercapedine superano quelle dell'aria esterna anche di 20°C. In queste condizioni, le

Rilievo delle prestazioni in condizione primaverile/autunnale

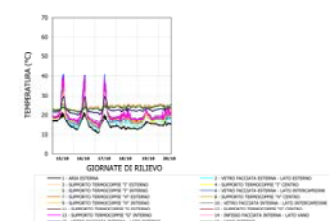


Grafico 6.4 Grafico di rilievo delle prestazioni dell'involucro in condizione primaverile/autunnale.

²¹ Questi ultimi valori devono essere valutati considerando che l'impianto di riscaldamento è stato messo in funzione a partire dal giorno 17 ottobre ed è rimasto acceso anche durante la notte. La specifica destinazione d'uso del fabbricato (residenze per anziani) prevede, infatti, la predisposizione di un microclima interno simile a quello degli edifici ospedalieri; i grafici mostrano una temperatura interna costantemente vicina ai 26°C.

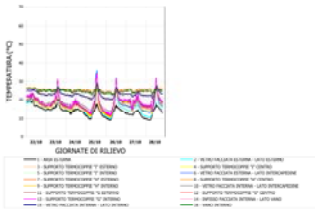


Grafico 6.5 Grafico di rilievo delle prestazioni dell'involucro in condizione primaverile/autunnale.

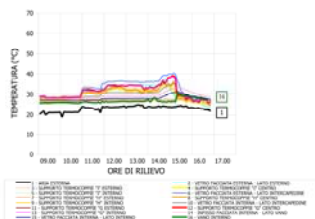


Grafico 6.6 Grafico di rilievo delle prestazioni dell'involucro nella giornata del 21 ottobre 2003.

temperature interne, anche se per poche ore, si innalzano sensibilmente. Nelle giornate in cui il cielo è coperto le temperature misurate nell'intercapedine seguono proporzionalmente quelle dell'aria esterna, ma si attestano sempre in valori superiori a queste ultime di almeno 5/10°C.

2. *Analisi del grafico 6.6:* il grafico mostra, a grande scala, l'andamento delle temperature misurate dalle termocoppie durante le ore di maggiore irraggiamento solare nella giornata 21 ottobre. In questo grafico si riporta il comportamento dell'involucro nelle condizioni in cui viene azionata la ventilazione meccanica dell'aria di intercapedine (ore 15.00); il ventilatore aspira l'aria presente tra le due facciate (entrante attraverso la griglia inferiore esterna) e la introduce nell'edificio. Le temperature interne risultano sempre costantemente elevate, anche prima dell'accensione del ventilatore, a causa dell'impianto di riscaldamento che le mantiene costantemente a circa 26°C. Le temperature dell'aria misurate nell'intercapedine sono, durante le ore di irraggiamento solare diretto, maggiori delle temperature dell'aria rilevate nel vano. Tale condizione si accentua quando il sole colpisce direttamente l'involucro con raggi la cui direzione risulta perpendicolare alla superficie delle lastre. A ventilatore in funzione, nell'intervallo di pochi minuti, la temperatura interna si è alzata di almeno 4/5°C e quella di intercapedine è passata velocemente da 38 a 30°C. Quando la temperatura nell'intercapedine è scesa a 25°C circa il ventilatore è stato spento e, gradualmente, si sono abbassate anche le temperature dell'aria interna.

Rilievo delle prestazioni in condizione invernale



Grafico 6.7 Grafico di rilievo delle prestazioni dell'involucro in condizione invernale.

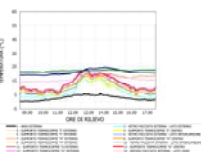


Grafico 6.8 Grafico di rilievo delle prestazioni dell'involucro nella giornata del 22 dicembre 2003.

Nel periodo invernale la griglia esterna inferiore è costantemente aperta, la griglia esterna superiore è tamponata con un pannello isolante, la griglia superiore interna aperta, la veneziana alzata e il ventilatore spento.

1. *Analisi del grafico generale 6.7 e del grafico 6.8:* lo sviluppo generale delle curve presenti nei grafici rileva la variazione dell'irraggiamento solare sull'involucro. Le prime giornate di rilievo evidenziano la presenza di un cielo prevalentemente coperto, mentre le restanti giornate risultano caratterizzate da cielo sereno, come dimostrato dai picchi di elevata temperatura raggiunti nell'intercapedine nelle ore in cui il sole colpisce direttamente la facciata. Durante queste ore, l'aria di intercapedine raggiunge temperature simili a quelle del vano interno. Le temperature rilevate nelle ore di massimo irraggiamento confermano, però, come l'intensità dei raggi solari si sia notevolmente ridotta rispetto a quella dei

mesi precedenti, durante i quali si sono misurate temperature che superavano anche i 50°C. In ogni caso, sia in condizioni di nuvolosità che in condizioni di cielo sereno, le temperature raggiunte nell'intercapedine superano quelle dell'aria esterna di almeno 5/7°C, sia durante il giorno che durante la notte. Le temperature misurate nel vano sono costanti e si avvicinano ai 25°C, come le temperature rilevate nel vetro relativo alla facciata interna (l'impianto di riscaldamento è sempre in funzione, sia durante il giorno che durante la notte).

6.2.2 Individuazione delle criticità e ipotesi di intervento

L'analisi e valutazione del caso studio appena descritto ha fornito l'occasione per mettere in campo interessanti riflessioni in merito alla definizione degli involucri evoluti a comportamento dinamico: seppure con i limiti rappresentati dall'unicità dei dati rilevati (in termini di destinazione d'uso, tipologia edilizia, orientamento e famiglia di involucro) è stato possibile fornire elementi significativi di risposta a questioni insorte durante gli ultimi anni di ricerca.

È stato possibile, infatti, inquadrare più adeguatamente il problema della ventilazione e del suo effettivo apporto positivo. La campagna di rilevamenti portata a termine sull'edificio per anziani ad Imola ha dimostrato che la ventilazione risolve solo parzialmente il problema del surriscaldamento estivo dovuto all'intensa radiazione solare. Dall'analisi dei grafici 1 e 2, per il comportamento *estivo*, si evidenzia come l'effetto serra nel vano venga sensibilmente ridotto dalla presenza delle due facciate vetrate, separate dall'intercapedine, che limitano il surriscaldamento dell'aria interna (anche durante le ore di massimo irraggiamento solare, superano di poco quelle della temperatura esterna). Il carico termico recuperato nell'involucro risulta notevole, ma poco influente, grazie soprattutto alla presenza di una facciata interna isolante (vetro camera ed infisso a taglio termico); carico che viene comunque velocemente disperso durante la notte, evidenziando la sostanziale mancanza di inerzia termica della chiusura. In conclusione si deduce una buona prestazione complessiva dell'involucro²², capace di limitare notevolmente l'effetto serra nel vano nonostante la quasi assente ventilazione naturale dell'intercapedine. Tale mancanza è dovuta principalmente ad una errata valutazione degli elementi complementari di funzionamento: il problema principale del funzionamento degli elementi complementari consiste nel dimensionamento

²² Dal Grafico 1 si evince che il problema del surriscaldamento estivo copre, soprattutto per l'orientamento a Ovest, un arco temporale vasto dalle 11 alle 17 circa e che, soprattutto nelle ultime ore della giornata, la temperatura interna sia maggiore di quella esterna.

delle griglie inferiori e del tubo di ventilazione²³. Modificando tali elementi si sarebbe ottenuto un sostanziale incremento della ventilazione²⁴. Altra ipotesi di intervento da valutare è relativa alla tipologia dell'involucro: si tratta infatti di una facciata a canali orizzontali, con griglie di ventilazione in ingresso ed in uscita poste ad ogni interpiano. Trattandosi di una facciata prospiciente vani ad uso comune e di collegamento, sarebbe da valutare la possibilità di aumentare la distanza delle griglie di ventilazione, ottenendo canali orizzontali corrispondenti allo sviluppo in altezza di due differenti piani o addirittura creare una facciata a canali verticali.

Per quanto riguarda invece il comportamento *autunnale* (e ipotizzabile per la primavera), i rilievi mostrano un incremento dell'isolamento termico complessivo dell'involucro, ottenuto grazie alla chiusura della griglia superiore esterna. L'efficacia delle prestazioni isolanti della doppia pelle è confermata dalla differenza di temperatura rilevata tra l'aria di intercapedine e l'aria esterna; tale differenza è molto elevata ed è dovuta al calore recuperato e trattenuto nell'intercapedine. Tale calore accumulato è la conseguenza dell'effetto serra generato nello spazio tra le due facciate; effetto decisamente elevato, dipendente non tanto dall'intensità dei raggi solari (ridotta a causa del periodo dell'anno) ma dall'angolo di incidenza delle radiazioni rispetto alla posizione verticale delle lastre, prossimo alla normale. Le giornate di cielo coperto non innescano nella doppia pelle un effetto serra simile a quello generato durante i giorni sereni; esse inducono, però, un'automatica e naturale predisposizione dell'involucro alla formazione di un cuscinetto di aria ferma nell'intercapedine, capace di incrementare le prestazioni di isolamento termico. La possibilità di chiudere la griglia superiore produce un effetto positivo sulla doppia pelle. In conclusione, l'involucro risponde in modo positivo alle condizioni climatiche intermedie. Si evidenzia, però, per queste stagioni, la necessità di poter configurare rapidamente e semplicemente l'involucro nel modo più adeguato rispetto alle condizioni ambientali esterne; ovvero, si ritiene che la possibilità di aprire o chiudere l'intercapedine (necessità rilevata anche per l'estivo, ma ancora più significativa nelle stagioni intermedie) e la possibilità di azionare il

²³ Il tubo presenta fori troppo piccoli e le griglie inferiori a sezione ridotta. Inoltre si tratta di griglie di ventilazione fisse e non orientabili, che non permettono cioè la modulazione della portata di aria in ingresso.

Il funzionamento durante un giorno con cielo coperto è ugualmente vantaggioso, poiché la temperatura dell'aria interna risulta ugualmente maggiore di quella esterna, anche senza la formazione dell'effetto camino. Il potere isolante dell'aria, quasi ferma, all'interno dell'intercapedine supplisce alla mancanza dell'effetto camino. L'effetto positivo di tale comportamento è dovuto però ad un limite della soluzione tecnologica impiegata: la presenza di griglie fisse, non regolabili.

²⁴ Sebbene l'involucro presenti inadeguatezze tecniche, si può notare come la temperatura diminuisca di 3-4 gradi. In questa configurazione il ventilatore invece di aspirare aria dall'intercapedine, aspira direttamente aria dal vano interno e la espelle all'esterno.

ventilatore permetta all'involucro di rispondere correttamente ai requisiti termici richiesti all'interno del vano.

Le prestazioni *invernali* dell'involucro sono estremamente elevate: analizzando le condizioni di temperatura dell'intercapedine si rilevano valori costantemente superiori a quelli misurati all'esterno, anche in assenza di irraggiamento solare diretto. L'effetto positivo di questa condizione può essere valutato equiparando la doppia pelle ad un involucro semplice inserito in un'area geografica caratterizzata da temperature invernali decisamente più miti. Tale situazione comporta la possibilità di dimensionare l'impianto di riscaldamento secondo condizioni assai vantaggiose, paragonabili a quelle di una zona geografica caratterizzata da temperature esterne più elevate rispetto a quelle realmente esistenti. La capacità dell'involucro, soprattutto nella configurazione con l'intercapedine chiusa verso l'esterno, di recuperare calore (anche in assenza di irraggiamento diretto sulle facciate) e trattenerlo porta, quindi, ad un notevole guadagno termico. Si può considerare tale guadagno come indiretto, se paragonato a quello relativo alla condizione primaverile/autunnale, dove risulta possibile, invece, portare direttamente all'interno del vano il calore accumulato nell'intercapedine (migliorando le condizioni microclimatiche interne). Nelle stagioni invernali tale operazione non risulta possibile in quanto le temperature misurate nell'intercapedine, durante le ore di intenso irraggiamento solare, raggiungono, al massimo, quelle dell'aria interna; ciò significa che non è ipotizzabile dirigere verso l'interno l'aria di intercapedine con l'obiettivo primario di incrementare le temperature dei vani.

6.3 Prime valutazioni relative al comportamento dinamico di involucri evoluti

Dalla analisi e valutazione dei casi studio appena descritti risulta necessaria un'operazione di sintesi e schematizzazione dei risultati attenuati dalle singole ricerche.

La difficoltà di una tale operazione risiede principalmente nella trasposizione dei risultati ottenuti in località caratterizzate da condizioni geografiche, normative e costruttive anche molto differenti rispetto a quelle considerate dalla presente ricerca.

È però possibile verificare alcune deduzioni comuni dalle differenti esperienze descritte:

- è dimostrata in quasi tutti i contesti analizzati l'efficienza e l'efficacia delle soluzioni che in questa sede vengono definite come involucri evoluti a comportamento dinamico;
- le ipotesi formulate in merito al funzionamento estivo e invernale di tali sistemi è verificato, con le dovute considerazioni climatiche, anche nei contesti internazionali, europei ed italiani;
- la ventilazione è una costante di tali sistemi integrati, ottenibile attraverso l'innescio integrato di differenti fenomeni (effetto serra, effetto camino, gradiente di temperatura);
- le dimensioni e le caratteristiche dei materiali incidono notevolmente nella progettazione di tali soluzioni;
- l'intervento sull'esistente è uno dei possibili campi d'azione per gli involucri evoluti;
- l'applicazione delle differenti famiglie di involucro e tipologie di facciata è in funzione della destinazione d'uso specifica di ogni edificio, non è perciò possibile individuare una soluzione valida in ogni contesto e per ogni funzione;
- gli svantaggi riscontrati sono gli stessi individuati dalle ricerche descritte in questi paragrafi e riguardano fondamentalmente aspetti economici e manutentivi.

A questo punto risulta necessario descrivere più puntualmente le possibili soluzioni per tecnologie e modelli applicativi di involucro evoluto a comportamento dinamico.

**Parte terza – Tecnologie e modelli applicativi
per involucri evoluti a comportamento dinamico**

7

Capitolo 7 – Elaborazione di linee guida per la progettazione e la valutazione

7.1 Modelli applicativi per il contesto geografico, normativo e imprenditoriale della Regione Emilia-Romagna

7.1.1 Modelli applicativi per famiglia di involucro

7.1.2 Modelli applicativi per tipologia di involucro

7.1.3 Modelli applicativi per tipologia di pelle

7.1.4 Modelli applicativi per destinazione d'uso

7.1.5 Modelli applicativi per tipologia edilizia

7.1.6 Modelli applicativi per orientamento

7.2 Livello di applicabilità delle singole famiglie di involucro

7.2.1 Trasparente su trasparente

7.2.2 Trasparente su opaco

7.2.3 Opaco su opaco

7.2.4 Traslucido su trasparente

7.2.5 Traslucido su opaco

7.3 Definizione di soluzioni conformi

7.3.1 Trasparente su trasparente

7.3.2 Trasparente su opaco

7.3.3 Opaco su opaco

7.3.4 Traslucido su trasparente

7.3.5 Traslucido su opaco

7.4 Cenni sull'integrazione impiantistica superfici

7.5 Predisposizione di un data base consultabile on-line

7.1 Modelli applicativi per il contesto geografico, normativo e imprenditoriale della Regione Emilia-Romagna

Come già indicato nell'introduzione, l'obiettivo della ricerca è quello di fornire accorgimenti tecnici, indicazioni progettuali, modelli applicativi senza i quali non è possibile impostare un comportamento dinamico degli involucri evoluti. Fino ad ora la progettazione di tali soluzioni era affidata, il più delle volte, a valutazioni teoriche, solo raramente ad analisi e studi approfonditi.

I modelli applicativi di seguito riportati discendono da un confronto estremamente complesso di quanto fino ad ora descritto:

- dall'analisi dei fattori esterni esistenti e dei fattori interni desiderati;
- dalla valutazione dei fenomeni fisici innescati dalle possibili combinazioni di due pelli, opache, trasparenti o traslucide;
- dall'individuazione di tipologie di facciata e famiglie di involucro e dalla conseguente valutazione dell'applicabilità tecnica e prestazionale delle stesse;
- dalle richieste normative e dai limiti da esse imposti;
- dal confronto di esperienze sperimentali di rilievo o di simulazione computerizzata.

La trattazione dei modelli applicativi risulta perciò particolarmente complessa e articolata e di non facile descrizione. Nel tentativo di semplificare e fornire strumenti di immediata comprensione ed utilizzo, si è stabilito di affrontare il problema da diversi punti di vista: l'obiettivo è quello di fornire indicazioni distinte per famiglia di involucro, tipologia di involucro, tipologia di pelle, destinazione d'uso, tipologia edilizia, ed orientamento.

7.1.1 Modelli applicativi per famiglia di involucro

Piuttosto significativa risulta la comparazione tra il comportamento dell'involucro rilevato ad Imola con la valutazione possibile di uno stesso involucro, svolta attraverso l'interpretazione normativa. In particolare la valutazione della trasmittanza dell'aria viene considerata diversamente nelle condizioni estive ed invernali. Nella condizione invernale la normativa considera infatti l'apporto gratuito dell'isolamento termico dell'aria contenuta nell'intercapedine: la norma UNI EN ISO 6946 considera l'apporto gratuito di un intercapedine d'aria solo se quest'ultima non è ventilata o debolmente ventilata. In caso di ventilazione dell'aria, con cavità fortemente ventilata (cioè con spessore superiore a 1/10 della dimensioni in altezza o lunghezza dell'involucro), non è possibile inserire nella valutazione globale della

parete, il guadagno termico dovuto alla ventilazione dell'intercapedine stessa: la norma infatti considera solo il pacchetto della pelle interna.

Dalle rilevazioni effettuate è possibile verificare che il picco di temperatura che si verifica all'interno dell'intercapedine, non ha significativi effetti all'interno dell'edificio.

Da tutte le prove svolte (descritte al capitolo 6) si evince che è possibile ottenere efficaci ventilazioni con intercapedini di 35 cm. Per ovviare a questa incompatibilità normativa (mantenendo però un guadagno positivo) è preferibile progettare sistemi di facciata a canali verticali. Tramite l'impiego di soluzioni simili è possibile infatti avvicinarsi al rapporto richiesto, ottenendo comunque una buona ventilazione.

Sarebbe infatti opportuno suddividere la componente termica dell'aria sotto due aspetti differenti: l'aria come isolante ha un certo valore di trasmittanza, possiede però anche una considerevole incidenza relativa all'effetto serra e all'innescò della ventilazione naturale.

Mettendo a sistema le due valutazioni (statica normativa e dinamica sperimentale) ne risulta un valore nettamente differente, se non altro nella complessità del valore fornito.

Per poter definire la seconda componente dell'aria (quella dovuta all'effetto serra) è possibile considerare il comportamento dell'involucro in assenza di irraggiamento solare diretto (con cielo coperto oppure di sera): in questa condizione, i valori rilevati si avvicinano abbastanza a quelli considerati dalla normativa. La componente dovuta all'irraggiamento solare è fornita dalla differenza tra il valore rilevato in presenza e quello in assenza di irraggiamento solare diretto.

Dai dati rilevati è possibile affermare che l'efficienza energetica di un involucro evoluto a comportamento dinamico è dovuto dall'innescò di differenti fattori:

- da un lato la ventilazione all'interno dell'intercapedine generata dai moti convettivi dell'aria calda;
- dall'altro dalla ventilazione dovuta alla sola differenza di pressione tra l'ingresso e l'uscita dell'aria nell'intercapedine.

Negli involucri *trasparente su trasparente* è preferibile l'impiego di canali verticali, poiché l'effetto serra creato nell'intercapedine produce surriscaldamento e conseguenti moti convettivi dell'aria, con il risultato finale di una efficiente ventilazione. La progettazione dei canali verticali deve perciò porre grande attenzione alla dimensione delle griglie di ventilazione in grado di innescare un tiraggio significativo (nella famiglia trasparente su trasparente le griglie dovrebbero prevedere asole e fori di dimensioni maggiori rispetto alle altre famiglie, cioè con sviluppo lineare superiore ad un terzo della estensione dell'involucro).

La progettazione di una chiusura completamente trasparente fa anche riferimento alle esigenze di illuminazione naturale. Definita la superficie minima in funzione dei vincoli normativi edilizi, l'area ottimale che permette di minimizzare i costi energetici di gestione nell'arco dell'anno potrebbe essere determinata attraverso un'analisi multi - parametrica condotta, per ciascun possibile orientamento, in relazione alla destinazione d'uso dell'edificio e alle condizioni al contorno del sito di progetto: ad esempio, per la facciata sud la percentuale ottimale di vetratura con un'efficace schermatura estiva risulta essere compresa tra il 10 e il 40 per cento.

Valutazioni differenti vanno considerate per gli involucri traslucidi. L'effetto serra in queste famiglie (*traslucido su opaco oppure traslucido su trasparente*) è poco significativo, se non in progetti in cui siano previste reti metalliche altamente conduttive (i cui supporti lo siano altrettanto). In queste famiglie il fattore che fa la differenza è il gradiente di pressione tra l'ingresso e l'uscita dell'aria: la soluzione più efficace, anche in questo caso, è relativa a sistemi a canali verticali. L'effetto da favorire in questo caso non è tanto l'effetto camino, quanto più l'effetto serra, ma non in termini di apporto di calore (più favorevole nella condizione invernale) quanto invece come eliminazione del surriscaldamento all'interno dell'edificio: infatti se non fosse presente la pelle esterna, l'effetto serra si produrrebbe all'interno dei vani, con conseguente passaggio di eccessivo calore all'interno dell'edificio. Si può perciò formulare il comportamento di un fenomeno non previsto nell'analisi iniziale della presente ricerca: l'effetto tampone, cioè quel fenomeno per il quale il surriscaldamento estivo viene trasferito dall'interno dei vani all'interno dell'intercapedine, con conseguente beneficio per l'utenza.

Entrando nel merito delle due famiglie di involucro è possibile affermare che:

- se si tratta di un involucro *traslucido su trasparente*, la pelle interna (costituita da una lastra di vetro) permette il passaggio della radiazione solare solo in termini di luce; in termini di materiali, non risulterebbe perciò necessario l'impiego di una lastra altamente performante (con trattamenti di isolamento migliorato o con valori elevati di riflessione e di bassa emissività);
- se si tratta invece di involucri *traslucido su opaco*, la pelle interna non necessita di un'elevata massa, è possibile infatti l'impiego di soluzioni leggere a secco anche alle latitudini come quelle dell'Emilia Romagna, dove simili sistemi costruttivi, non tradizionali, prevedrebbero un efficiente comportamento invernale (con livelli di isolamento elevati) ma una scarsa risposta ai requisiti estivi.

Rimanendo nel merito dell'impiego di pelli traslucide composte da reti o tessuti metallici, è possibile fare un'ulteriore considerazione. Fermo restando il carattere discontinuo di tali materiali, è comunque riscontrabile un possibile accumulo di calore all'interno dello spazio tra le due pelli.

Questo spazio, paragonabile all'intercapedine delle altre famiglie di involucro funge da filtro per il calore che si genera durante le ore di incidenza diretta della radiazione solare. Tale periodo però, a seconda dell'orientamento, è limitato a poche ore: l'aria, non possedendo capacità termica, si raffredda piuttosto velocemente non appena la radiazione solare cambia di direzione.

Le prestazioni della pelle interna infatti dovrebbero possedere una capacità isolante, tale da impedire che il calore accumulato all'interno dell'intercapedine per quel periodo di tempo limitato, non si trasmetta all'interno dell'edificio. Ecco che è possibile dedurre altre considerazioni in merito ai fenomeni fisici e ai parametri che incidono nella progettazione dell'edificio. La normativa regionale (DAL. 156/2008) prevede uno sfasamento minimo, per le pelli opache, di 8 ore: dalle considerazioni appena fatte è però deducibile che tale valore potrebbe essere diminuito o comunque differenziato rispetto all'orientamento. Tale valutazione conferma l'ipotesi precedentemente formulata relativa alla validità dell'impiego di sistemi leggeri a secco anche nel contesto di riferimento, sebbene questi ultimi non possiedano massa né livelli di sfasamento elevati.

L'impiego di involucri traslucido su opaco, con pelle interna pesante, potrebbe risultare comunque vantaggioso: l'attenzione è nell'equilibrio delle due pelli che compongono l'involucro, attribuendo alla pelle esterna quota parte dei requisiti richiesti alla chiusura interna, ottenendo così, per quest'ultima, una parziale diminuzione della massa termica.

La tipologia a canali verticali può perciò essere impiegata con effetti positivi, in quasi tutte le famiglie di involucro, sfruttando di volta in volta l'effetto camino oppure il contributo dell'effetto serra all'effetto camino: in questo modo non è necessario ottenere eccellenti livelli di isolamento della pelle interna. Al contrario, è opportuno ricercare sistemi di isolamento altamente performanti se l'involucro evoluto a comportamento dinamico è impiegato in piccole porzioni, oppure se costituito da una tipologia a singoli elementi. Queste soluzioni infatti non consentono di innescare una ventilazione dell'aria di intercapedine, perciò il surriscaldamento, che potrebbe verificarsi all'interno dell'intercapedine, può essere evitato attraverso l'impiego di materiali in grado di dissipare l'onda per la pelle esterna.

Per le soluzioni *opaco su opaco* si presentano dinamiche di impiego molto simili:

- dove possibile, in presenza cioè di pelle esterna costituita da materiali conduttivi (come ad esempio le lamiere metalliche o pietre in lastre molto sottili) l'effetto serra prodotto nell'intercapedine innesca un surriscaldamento e dei conseguenti moti convettivi utili alla ventilazione. L'innesco della ventilazione è favorita dall'altezza dell'involucro; ecco perché è preferibile l'impiego di tali sistemi nelle tipologie in linea o a torre;
- nel caso di impiego di materiali per la pelle esterna più isolanti e con più massa (come ad esempio il cotto o pietre in spessori maggiori), l'effetto positivo dell'intercapedine è dato dal trasferimento dell'effetto serra dall'interno dei vani all'intercapedine. Inoltre la ventilazione è ottenibile per semplice gradiente di pressione tra la base e la sommità dell'involucro, confermando ancora una volta la validità dei sistemi a canali verticali. Se, però, la pelle esterna ha un potere conduttivo decisamente basso, il vantaggio di un involucro evoluto è principalmente di tipo igrometrico, cioè relativo alla possibilità di creare riscontro d'aria, evitando così la formazione di condensa e di umidità interna. L'inerzia della pelle esterna opaca rilascia il calore accumulato durante il giorno, a fine giornata, cioè quando il sole è ormai calato, e non nel momento di massimo surriscaldamento.

7.1.2 Modelli applicativi per tipologia di involucro

Oltre alle considerazioni già fatte nel paragrafo precedente, in merito alla tipologia della pelle interna opaca (pesante o leggera), per poter governare facilmente le prestazioni dinamiche dell'involucro, le tipologie più adatte sono quelle che prevedono un'elevata compartimentazione dell'intercapedine. In particolare, i sistemi a singoli elementi e i sistemi a canali, per la ridotta estensione dello spazio contenuto tra le due facciate, rappresentano le tipologie più adeguate a controllare agevolmente le direzioni e le temperature dell'aria di intercapedine. Tale osservazione è riferibile agli involucri trasparente su trasparente, trasparente su opaco e opaco su opaco.

I sistemi a tutta superficie, definendo intercapedini di elevate dimensioni (corrispondenti allo sviluppo altimetrico dell'edificio), come già accennato, comportano invece un difficile controllo delle temperature dell'aria presente tra le due facciate ai diversi piani dell'edificio; l'aria contenuta tra le due pelli tende costantemente a stratificarsi, non solamente nei mesi più caldi ma anche nei mesi

freddi, dove si innesca un movimento continuo (anche se di ridotta velocità) che riduce il potere isolante complessivo dell'involucro.

Nelle soluzioni a tutta superficie, dove invece, non è possibile controllare in maniera adeguata la ventilazione all'interno dell'intercapedine, è preferibile l'impiego di materiali in grado di offrire livelli prestazionali di isolamento più elevati:

- per le famiglie trasparente su trasparente e traslucido su trasparente, la pelle interna dovrebbe possedere una trasmittanza migliorata (oppure presentare un lato migliorato – basso emissivo¹ o riflettente - rivolto verso l'esterno, cioè verso l'intercapedine);
- per le famiglie trasparente su opaco, traslucido su opaco e opaco su opaco, la pelle interna dovrebbe contenere strati di isolamento significativi oppure possedere maggiore inerzia termica (perciò maggiore massa);
- negli edifici alti, sistemi a tutta superficie con fissaggi puntiformi prevedrebbero costi di costruzioni molto elevati; si ricorre infatti spesso a sistemi di supporto su guide, che creano una conformazione più simile a quella a canali.

Per ottimizzare il comfort termico, soprattutto in estate, se non si ricorre a un sistema di ventilazione forzata, è preferibile che l'altezza dell'intercapedine non superi quella dell'interpiano e, parimenti, che la larghezza stessa sia abbastanza contenuta. Inoltre, un valore di 200 cm²/m² è sufficiente per la presa d'aria e aperture per la ventilazione naturale. L'utilizzo di una facciata a canali o a singoli elementi offre maggiori vantaggi di efficacia di funzionamento per i seguenti motivi:

- l'effetto camino ventilante avviene per ciascun modulo di facciata, è più facile quindi evitare fenomeni di surriscaldamento nell'intercapedine ed assicurare la quantità d'aria necessaria agli ambienti in caso di comunicazione della facciata più interna;
- la presenza di suddivisioni verticali evita i movimenti dell'aria in orizzontale, favorendo l'effetto camino verso l'alto in maniera guidata;
- i moduli di facciata vengono molto spesso testati in laboratorio, è pertanto possibile ricavare termini noti di funzionamento dell'elemento, poi estendibili al sistema in opera;

¹ La sede del Dipartimento dei Trasporti Caltrans District 7 Headquarters – Los Angeles California – Morphosis – è costituito da un involucro traslucido su trasparente. La pelle esterna è composta da un pannello in alluminio perforato con trattamento superficiale ; quella interna da un sistema di facciata a controllo solare, con lastra vetrata basso emissiva.

- vi è una maggiore facilità di pulizia e manutenzione dei vetri, che può avvenire direttamente dall'interno.

Il problema principale da tenere in considerazione per il funzionamento di una facciata a ventilazione naturale è quello di evitare il surriscaldamento dell'aria: per questo motivo, se si utilizza un sistema di facciata a tutta superficie, a seconda del numero di piani dell'edificio, oltre alle aperture alla base ed in sommità della facciata è opportuno predisporre aperture intermedie almeno ogni due o tre piani. La ventilazione dell'intercapedine può essere costante, attraverso aperture fisse, oppure regolabile secondo necessità, con l'impiego di lamelle ed ante azionabili manualmente o tramite comandi elettronici.

Nel caso di edifici alti, l'elevata spinta del vento in una facciata tradizionale non consente l'applicazione di schermature solari all'esterno né l'apertura delle specchiature apribili per la ventilazione degli ambienti. In un involucro evoluto, grazie al rivestimento esterno si crea un'intercapedine nella quale può essere inserita la schermatura solare che consente la ventilazione naturale. Nel caso di facciate tradizionali le schermature devono essere posizionate internamente o integrate nel vetro camera mentre la ventilazione deve essere forzata.

Nelle condizioni climatiche considerate la direzione di ventilazione più efficace, soprattutto per il controllo delle temperature dell'intercapedine nei mesi estivi, è quella esterna; tale direzione permette, infatti, di convogliare verso l'esterno il calore recuperato nell'intercapedine, riducendo al minimo il surriscaldamento dell'involucro e dei vani interni.

Anche la direzione di ventilazione mista può essere utilizzata, purché venga predisposta una corretta gestione dell'involucro; il rischio della condizione estiva, per questa direzione di ventilazione, è dato dalla possibilità che l'elevato calore recuperato nell'intercapedine possa entrare nei vani a causa di una non corretta configurazione dei dispositivi apribili presenti sulla pelle interna. Pertanto, per gli interventi destinati ad un'utenza non informata e consapevole dei limiti e delle prestazioni ottenibili, è opportuno evitare direzioni di ventilazione miste, se non realizzate attraverso soluzioni che prevedano un funzionamento automatico.

Va comunque evidenziato che tale direzione di ventilazione risulta termicamente molto vantaggiosa, soprattutto nelle stagioni intermedie (primavera ed autunno), quando la temperatura raggiunta tra le due facciate vetrate è decisamente superiore a quella dei vani grazie al forte irraggiamento solare (superiore anche di 20°C rispetto a quella dell'aria esterna). Con tali condizioni il volume di aria contenuto nell'intercapedine, anche se ridotto rispetto a quello presente nell'unità ambientale collegata all'involucro, trasporta una quantità di calore notevole,

capace, se introdotto all'interno, di portare un sensibile guadagno termico al vano prospiciente l'involucro. La stagione invernale, invece, prevede un guadagno termico nell'intercapedine decisamente troppo basso per convogliare l'aria riscaldata nell'intercapedine verso i vani interni (anche nel caso di applicazione di griglie esterne chiudibili); ciò dipende dal ridotto rapporto tra il volume dell'aria di intercapedine e quello del vano cui è applicato l'involucro, in relazione alle temperature raggiunte all'interno di quest'ultima. L'aria contenuta tra le due pelli, infatti, anche in condizioni di elevato irraggiamento solare, raggiunge temperature al massimo uguali o poco superiori alla temperatura di benessere richiesta dell'interno del fabbricato. Pertanto, portare tale volume di aria verso l'interno non comporterebbe alcun beneficio di rilievo ma, anzi, raffredderebbe velocemente l'involucro riducendone il potere isolante.

La ventilazione dei vani può essere generalmente risolta attraverso tre principali soluzioni, da adottare in funzione delle destinazioni d'uso e della tipologia di attività svolta:

- ventilazione dei vani prodotta esclusivamente attraverso un impianto meccanico; in questa condizione all'involucro non vengono richiesti specifici requisiti di relazione tra aria esterna e aria interna. Se si adotta questo tipo di ventilazione non vi sono particolari indicazioni da suggerire per la progettazione dell'involucro;
- ventilazione naturale dei vani prodotta attraverso l'aria di intercapedine; in questa condizione si richiede all'involucro di collegare esterno ed interno attraverso lo spazio di intercapedine. La configurazione della chiusura risulta più complessa rispetto alla precedente, a causa della necessaria presenza di elementi aggiuntivi per la ventilazione dei vani da collocare nella facciata interna (oltre a quelli posti in facciata esterna). La direzione di ventilazione è, quindi, del tipo misto. La pelle interna deve essere dotata di griglie, superiori ed inferiori (ventilazione continua dei vani), oppure, più comunemente, di aperture dirette (ad anta, a vasistas o scorrevoli per una ventilazione intermittente dei vani). La facciata esterna, invece, a seconda dei requisiti imposti dalla normativa vigente nella località di progettazione, può essere dotata di semplici griglie, la cui portata d'aria deve raggiungere quella richiesta dagli standard, oppure deve contenere un ulteriore elemento apribile, collocato in corrispondenza di quello interno; con quest'ultima configurazione si garantisce anche un affaccio diretto verso l'esterno dell'edificio. Con l'adozione di un sistema misto si devono valutare gli effetti prodotti dalla ventilazione in funzione

della tipologia di involucro. In particolare, la presenza di un'intercapedine su cui affacciano più vani o, addirittura, più unità immobiliari, può provocare effetti sgraditi; l'aria in uscita da vani collocati ai piani inferiori potrebbe, infatti, essere immessa direttamente nei vani posti ai piani superiori, rendendo nullo il ricambio di aria. Per tali motivi non si ritiene applicabile questa soluzione di involucro. Volendo adottare un sistema misto sono, pertanto, preferibili alle tipologie a tutta superficie le tipologie a singoli elementi o a canali orizzontali, purché ogni canale risulti di pertinenza del medesimo vano o categoria di vani;

- ventilazione naturale dei vani attraverso aperture dirette sull'esterno non collocate nell'involucro evoluto; questa soluzione prevede che i vani vengano ventilati naturalmente attraverso l'impiego di aperture tradizionali (finestre), applicate su porzioni di involucro non realizzate con sistemi evoluti. Tale soluzione riduce sensibilmente le problematiche indotte dalla normativa in quanto i requisiti cogenti riferiti al ricambio di aria interna sono svolti da porzioni di involucro tradizionale. Inoltre, l'adozione di una ventilazione naturale dei vani separata dal funzionamento dell'involucro evita gli usi impropri e non corretti del sistema; è il caso, ad esempio, della condizione in cui, in estate, vengono aperti gli infissi interni dell'involucro quando nell'intercapedine l'aria raggiunge i 50°C, con un conseguente dannoso ingresso di calore all'interno dei vani.

7.1.3 Modelli applicativi per tipologia di pelle

Per la realizzazione delle due facciate che compongono l'involucro si può scegliere tra una vasta gamma di materiali e sistemi costruttivi diversi.

Le prestazioni richieste all'involucro per il clima del contesto regionale prevedono che la chiusura, nel suo complesso, possieda allo stesso tempo un elevato livello di isolamento termico, per rispondere alle rigide condizioni invernali, ed una buona capacità di non trattenere il calore recuperato dall'intercapedine nelle condizioni estive.

Per controllare queste prestazioni si agisce sulle caratteristiche fisiche delle due pelli, collocando facciate isolanti, facciate con inerzia termica, semplici o multistrato in posizione esterna o interna a seconda dei requisiti complessivamente richiesti;

- una doppia vetrata con infisso a taglio termico, se posizionata nella facciata esterna, contribuisce al raggiungimento un elevato potere isolante dell'involucro grazie alla possibilità di trattenere gran parte del calore recuperato nell'intercapedine; se posizionata nella facciata interna,

invece, il livello di isolamento termico risulta inferiore. La prima configurazione, se da un lato ottiene ottime prestazioni dell'involucro in condizioni di ridotte temperature invernali, comporta dall'altro una limitata dispersione del calore in condizioni di elevate temperature estive; tale effetto negativo può insorgere nonostante la presenza dei dispositivi complementari predisposti alla ventilazione dell'intercapedine verso l'esterno, anche quando questi ultimi permettono il passaggio di una notevole portata di aria;

- una pelle composta da sistemi costruttivi a secco, se collocata all'interno, risponde in maniera adeguata alle condizioni di rigidità invernale; se posizionata all'esterno invece non risponde in maniera del tutto adeguata al surriscaldamento che si verifica nel periodo estivo. Per il clima di riferimento è preferibile applicare la facciata isolante nella pelle interna, ottenendo prestazioni intermedie, capaci comunque di rispondere ai requisiti di entrambe le stagioni (estiva ed invernale). Per la pelle esterna si possono predisporre facciate semplici di rivestimento in vetro o in altro materiale opaco, costituite da un unico strato e da sistemi di supporto e fissaggio. Un involucro così configurato risulta maggiormente permeabile e capace di lasciar uscire velocemente il calore dell'intercapedine verso l'esterno; la facciata isolante interna limita, inoltre, la trasmissione del calore prodotto nell'intercapedine verso il vano, grazie al ridotto coefficiente di trasmissione termica che la contraddistingue;
- una pelle traslucida, invece, per natura costitutiva, è applicabile solo all'esterno; in linea generica non presenta svantaggi, ma la sua applicazione, la morfologia e le dimensioni devono essere valutate in relazione alle caratteristiche fisiche della pelle interna. Questa specifica tipologia di facciata trova utilità anche in condizione invernale, quando le temperature sono decisamente inferiori a quelle del vano interno. Limitare le prestazioni di isolamento termico della chiusura alla facciata interna comporta la possibilità di semplificare il funzionamento dinamico dell'involucro, evitando l'impiego di dispositivi orientabili e quindi di contenere la complessità del sistema costruttivo.

7.1.4 Modelli applicativi per destinazione d'uso

Si riportano, in questo e nel successivo paragrafo, le linee guida che regolano la progettazione degli involucri evoluti a comportamento dinamico in funzione della destinazione d'uso dei vani e della tipologia edilizia, ovvero dei fattori interni che

influiscono sulla scelta della tecnologia. A tali variabili corrispondono specifici requisiti a cui l'involucro può rispondere attraverso idonee configurazioni di materiali, di tipologia e di ventilazione.

Per la valutazione dell'applicabilità di una soluzione a comportamento dinamico all'edilizia residenziale si rende necessaria, in fase di progettazione, l'analisi di una serie di problematiche indotte dalle caratteristiche fisiche e meccaniche del sistema costruttivo, anche in funzione delle aspettative riposte dall'utenza in relazione alle comuni prestazioni di involucro.

Destinazione d'uso residenziale

Da un punto di vista tecnico, il funzionamento della tecnologia prescinde dalla destinazione d'uso dei vani cui si rapporta. Ciò che si evidenzia è, invece, la richiesta di specifiche prestazioni che la facciata deve offrire per rispondere ai requisiti imposti dalle categorie di attività svolte nei vani che affacciano su di essa. Si tratta, in particolare, di esigenze funzionali, spesso definite anche dalla normativa, che individuano precise caratteristiche morfologiche e meccaniche dell'involucro.

Nelle categorie di spazi per attività principali (zona giorno e zona notte) si richiede all'involucro di consentire la ventilazione naturale dei vani e l'affaccio diretto verso l'esterno. Ciò comporta la predisposizione di aperture che mettano in comunicazione l'interno con l'esterno. La soluzione tecnologica che risponde a questi requisiti è definita da una facciata in cui il ricambio dell'aria dei vani viene prodotto, parzialmente o esclusivamente, attraverso la presenza di aperture dirette, collocate in corrispondenza tra loro, su entrambe le pelli oppure per famiglie di involucro in cui la pelle esterna è di tipo traslucido a frangisole.

Nelle condizioni normative in cui l'affaccio diretto verso l'esterno può essere parziale, ovvero solamente una percentuale del volume di ricambio di aria interna viene prodotto tramite la tradizionale superficie finestrata, la restante porzione di ventilazione naturale deve essere ottenuta attraverso l'impiego di una ventilazione mista; in essa l'intercapedine, collegata con l'esterno e con l'interno, permette il ricambio dell'aria dei vani tramite i dispositivi di ventilazione. Gli elementi per l'ingresso e l'uscita dell'aria di intercapedine devono, quindi, essere calibrati in funzione del volume di ventilazione richiesto.

Queste condizioni non vengono imposte a tutte le categorie di vani. Le categorie per attività secondarie (servizi) richiedono, ad esempio, standard di ventilazione inferiori e non impongono l'affaccio diretto verso l'esterno; gli spazi di circolazione e collegamento (sia interni che esterni alle unità immobiliari) non esigono alcuno standard per la ventilazione naturale. Nel primo caso possono essere utilizzate

facciate con direzione di ventilazione di tipo misto che non richiedono affacci diretti verso l'esterno del fabbricato, mentre nel secondo possono essere utilizzate anche facciate con direzione di ventilazione esterna.

In generale, è opportuno valutare, per l'edilizia residenziale, l'ipotesi di applicazione di involucro evoluto a comportamento dinamico evitando all'involucro stesso di assolvere ai requisiti minimi di ventilazione naturale e di affaccio verso l'esterno; la ventilazione dell'intercapedine attraverso un sistema misto può essere considerata una prestazione supplementare della chiusura, rivolta esclusivamente al controllo del microclima interno.

La destinazione d'uso residenziale è caratterizzata dalla presenza di unità ambientali contraddistinte da uno sviluppo planimetrico dipendente dal tipo di attività svolta. In una medesima unità immobiliare sono presenti vani con superfici molto diverse tra loro. Ne consegue che la larghezza di ogni vano che affaccia sull'involucro può risultare estremamente diversa rispetto a quella dei vani adiacenti. Per poter applicare correttamente un involucro trasparente su trasparente, tale variabilità dimensionale deve essere regolata da un rigido schema modulare, corrispondente al ritmo imposto dalla struttura portante della facciata interna.

L'impiego di sistemi trasparente su opaco e opaco su opaco permette, al contrario, una notevole autonomia distributiva interna, grazie alla possibilità di inserire tramezzature in ogni posizione dietro la pelle opaca; autonomia che non solamente si presenta in fase di progettazione dell'edificio, ma che rimane costante durante il ciclo di vita di quest'ultimo, consentendo, nel tempo, anche notevoli variazioni nell'assetto planimetrico. Tali sistemi, sotto quest'aspetto, prevedono addirittura prestazioni superiori rispetto agli involucri tradizionali in quanto permette di modificare sensibilmente le caratteristiche fisiche e funzionali della pelle interna (anche di ogni singola unità immobiliare) senza modificare l'aspetto architettonico esterno complessivo dell'edificio (comprese le posizioni delle finestre collocate sulla pelle interna).

Destinazione d'uso terziaria La destinazione d'uso terziaria richiede alle chiusure esterne prestazioni dipendenti dal tipo di attività svolte all'interno dei vani. Prestazioni che, in parte, sono simili a quelle individuate per l'edilizia residenziale e che, in parte, impongono la definizione di requisiti completamente differenti. Inoltre, nella verifica di applicabilità, determinate problematiche emerse nella valutazione degli edifici per la residenza non compaiono nella valutazione degli edifici per il terziario. Quest'ultimo aspetto si pone a favore dell'impiego di sistemi trasparente su

trasparente anche nelle condizioni in cui, per l'edilizia residenziale, si imporrebbero invece sistemi differenti.

Come per la destinazione d'uso residenziale, l'attenzione viene posta sulle prestazioni richieste dai vani destinati alle attività principali, per la gran parte utilizzati ad uffici.

Le prestazioni legate all'illuminazione naturale costituiscono, per l'edilizia del terziario, un aspetto progettuale di notevole rilievo in quanto la normativa richiede standard elevati, decisamente superiori rispetto a quelli richiesti per l'edilizia residenziale. La volumetria dei vani per l'edilizia del terziario è, inoltre, più complessa di quella abitativa a causa della presenza di unità ambientali definite da elevata profondità ed altezza; per tali attributi spaziali dei vani si richiede una uniforme illuminazione naturale, adeguata allo svolgimento delle attività previste. Per raggiungere i livelli di illuminazione naturale previsti dalla normativa la facciata deve essere realizzata in modo tale da consentire la massima riflessione, verso l'interno dei vani, dei raggi solari incidenti sulla superficie vetrata.

Per gli spazi destinati a uffici non solamente deve essere controllata la quantità di luce entrante, ma anche la sua qualità; ovvero, si deve valutare l'effetto che la radiazione solare provoca nei vani quando, ad esempio, vengono utilizzati dei monitor. Nella scelta tra i sistemi traslucidi si devono considerare quelli che permettono di calibrare l'intensità dell'illuminazione, evitando la presenza di radiazioni dirette nelle direzioni degli schermi. Le schermature e le reti (fisse o orientabili) costituiscono le soluzioni che maggiormente rispondono tali requisiti; si tratta di sistemi che contribuiscono a diffondere la luce, riflettendo i raggi solari verso il soffitto e, da qui, verso la profondità degli ambienti. Entrambe le soluzioni possono essere correttamente impiegate in quanto non è richiesta la completa oscurabilità dei vani (come, invece, avviene per la destinazione d'uso residenziale). Gli standard normativi di ventilazione naturale richiesti ai locali destinati ad attività principali risultano estremamente differenti in funzione della località. Per alcune località, infatti, si richiedono, agli involucri, standard uguali o superiori a quelli adottati per l'edilizia residenziale.

Le problematiche da affrontare non sono rivolte alla ricerca di soluzioni che consentano un adeguato volume di ricambio di aria, bensì alla necessità di individuare soluzioni che permettano, come per le abitazioni, un affaccio diretto verso l'esterno. Per tale vincolo l'involucro deve, necessariamente, essere caratterizzato dalla presenza di affacci diretti verso l'esterno dell'edificio. In altre località, invece, simili richieste non vengono poste e il ricambio dell'aria interna può avvenire completamente attraverso l'impiego di sistemi meccanici;

conseguentemente, si possono adottare tutti i sistemi di ventilazione dell'intercapedine previsti, di tipo esterno, interno o misto. In questo caso, il requisito imposto dalla normativa per il ricambio di aria interna viene assolto primariamente dagli impianti di ventilazione interni all'edificio; la ventilazione naturale offerta (direzione di ventilazione mista) costituisce una prestazione supplementare dell'involucro.

Per la funzionalità del sistema, in relazione alle condizioni climatiche regionali, le direzioni di ventilazione che maggiormente si adattano alla destinazione d'uso terziaria sono quella esterna e quella mista; tali soluzioni permettono, infatti, di controllare in modo affidabile le prestazioni dell'involucro in condizione estiva.

L'organizzazione distributiva interna di edifici destinati ad attività di terziario e servizio risulta molto più libera e flessibile di quella dell'edilizia residenziale; pertanto, l'adozione di sistemi trasparente su opaco, opaco su opaco o traslucidi diviene vincolante solo per pochi interventi edilizi, all'interno dei quali sono richieste soluzioni distributive interne particolarmente flessibili e complesse.

Nel caso di applicazione di sistemi trasparente su trasparente, la larghezza di ogni vano che affaccia sull'involucro deve quindi risultare costituita da un valore multiplo della dimensione modulare che regola la struttura di supporto della facciata interna.

Destinazione d'uso specialistica La destinazione d'uso specialistica in questa sede non è stata trattata approfonditamente, poiché raccoglie all'interno funzioni nettamente differenti, per le quali risulta particolarmente difficoltoso poter trarre delle indicazioni progettuali genericamente valide.

È però importante sottolineare la validità dell'impiego degli involucri evoluti a comportamento dinamico anche in questo caso: ad esempio costituiscono una opportunità per l'edilizia scolastica, nella quale i requisiti di isolamento termico richiesto spesso sono in contrasto con quelli di illuminazione necessaria. Lo sfruttamento del comportamento di sistemi completamente trasparenti combinato con quelli trasparente su opaco potrebbero rispondere adeguatamente alle richieste di tale destinazione d'uso.

7.1.5 Modelli applicativi per tipologia edilizia

La tipologia edilizia introduce una serie di vincoli originati dalle caratteristiche planimetriche, volumetriche e distributive interne del fabbricato. Tali caratteristiche possono essere riassunte attraverso la specificazione della tipologia edilizia che caratterizza il fabbricato sia all'interno, attraverso una precisa organizzazione delle unità ambientali, che all'esterno, attraverso il conseguente riconoscimento di una

determinata identità costruita. A ciò corrisponde la definizione dell'involucro che deve considerare parametri che, nell'individuazione delle prestazioni offerte, dichiarino sia cosa avviene nelle specifiche unità ambientali in cui esso è applicato (attività svolta) sia quali relazioni lo connettono all'intero organismo edilizio (posizione altimetrica, orientamento, attività svolte ai piani inferiori e superiori di ogni unità ambientale).

In generale, la tipologia edilizia influisce sulla scelta della tipologia di involucro, mentre la destinazione d'uso influisce prevalentemente sulla definizione del sistema di ventilazione dell'intercapedine.

Trasferendo in quest'ambito le considerazioni fatte precedentemente (ai paragrafi 7.5.1) è possibile sottolineare alcune differenze, stabilendo quale sia il fenomeno da favorire, in funzione anche dei materiali impiegati:

- maggiore è l'altezza, maggiore è la possibilità di sfruttare l'effetto camino dovuto alla differente pressione. Negli edifici in linea e, specialmente, in quelli a torre non risulta necessario l'impiego di materiali altamente conduttivi; la capacità di innescare la ventilazione all'interno dell'involucro è supportata dall'altezza stessa dell'edificio. Inoltre è possibile ottenere sistemi integrati costituiti da differenti tipologie di involucro. In tal senso involucri di edifici in linea o a torre possono essere composti da un numero limitato di canali verticali in cui confluisce l'aria proveniente da canali orizzontali adiacenti, il canale centrale funge così da camino di tiraggio per una porzione considerevole dell'involucro;
- negli edifici più bassi, a schiera o isolati, l'innescò della ventilazione è favorita dall'impiego di materiali più conduttivi opachi o trasparenti, in grado di creare l'effetto serra. Ecco perché per queste tipologie è possibile l'impiego anche di soluzioni a canali orizzontali (possibilmente di altezza pari a due piani) o a singoli elementi.

7.1.6 Modelli applicativi per orientamento

Il comportamento dinamico dell'involucro è funzionale all'orientamento, ovvero alla collocazione delle facciate rispetto alla posizione del sole durante la giornata e durante l'anno solare. Ne consegue che l'involucro evoluto a comportamento dinamico per funzionare, ovvero per creare quegli effetti essenziali alla formazione di specifiche e variabili prestazioni, necessita dell'irraggiamento diretto del sole.

Il principio basilare per l'applicazione di questa tecnologia è quindi definito dall'esigenza di applicare l'involucro prevalentemente nei prospetti degli edifici direttamente raggiunti dai raggi solari. Al momento della progettazione si devono

considerare, pertanto, esclusivamente gli orientamenti sud, ovest ed est, limitando l'impiego dell'esposizione a nord di soluzioni maggiormente isolate e che sfruttano l'aria di intercapedine solo come cuscinetto tampone. L'applicazione di un involucro a doppia pelle a nord non comporta la formazione di particolari condizioni negative ma, semplicemente, non produce quella dinamicità di prestazioni proprie del sistema costruttivo; in ogni caso, l'impiego della doppia pelle in questo orientamento può essere valutata per esigenze relative all'isolamento termico e per mantenere una coerenza architettonica con ad altri prospetti dell'edificio.

Rispetto alle aree geografiche nord europee, in cui l'efficienza dell'involucro durante l'intero anno solare è stata ampiamente dimostrata, le condizioni climatiche italiane presentano temperature diverse ed un irraggiamento solare più intenso (durante tutto l'anno). In specifiche stagioni (primavera, autunno, inverno), queste condizioni climatiche consentono un notevole vantaggio in termini di guadagno termico, rendendo l'involucro capace di offrire elevate prestazioni. Durante il periodo estivo, però, le alte temperature ed un intenso irraggiamento possono produrre, se non valutati correttamente, effetti negativi sul microclima dei vani interni.

La facciata deve essere collocata in posizione tale da ricevere la massima quantità possibile di energia solare, considerando eventualmente la possibilità di intervenire sul controllo della radiazione solare incidente dei mesi estivi attraverso la definizione di particolari soluzioni costruttive che coinvolgono differenti famiglie di involucro capaci di proteggere la superficie durante le ore di elevato irraggiamento.

7.2 Livello di applicabilità delle singole famiglie di involucro

La definizione di una corretta soluzione di involucro, nelle forme, nei materiali e nel sistema costruttivo, ha origine nell'individuazione e nella valutazione dei fattori fissi e variabili che caratterizzano l'ambito di applicazione del singolo progetto di architettura; questi fattori generano e inquadrano una serie di vincoli e condizioni a cui l'involucro è chiamato a rispondere, in termini di prestazioni, attraverso l'innescare e/o lo sfruttamento di specifici fenomeni fisici.

In primo luogo si tratta di riconoscere e identificare questi fattori, mettendoli in relazione tra loro, aggiungendo o sottraendo, quando necessario, dati fisici e termofisici, parametri e vincoli diversi. Alcuni fattori sono il risultato oggettivo della contestualizzazione dell'edificio e dell'involucro in uno specifico ambito; altri invece, derivano direttamente da scelte progettuali di ordine architettonico (tipologia edilizia, volumetria dell'edificio) e funzionale (destinazione d'uso dell'edificio e delle singole unità ambientali). E' fondamentale rilevare che alcuni di questi fattori sono

variabili, ovvero presentano, o possono presentare, caratteristiche e attributi mutabili nel tempo (variabilità giornaliera, stagionale, occasionale, ecc.). Questo aspetto è particolarmente evidente se si fa riferimento, ad esempio, alla variabilità delle caratteristiche di irraggiamento e temperatura di un determinato contesto climatico nelle diverse stagioni (oppure semplicemente nell'alternanza tra il giorno e la notte) in relazione alle prestazioni energetiche dell'involucro; od ancora, se si fa riferimento al mutare delle condizioni di fruizione di un edificio durante la giornata o alla possibilità di modificare la destinazione di una o più unità ambientali che affacciano sulla medesima chiusura.

Rilevare in modo puntuale e circoscritto i fattori di influenza consente poi di identificare, con adeguata semplicità e precisione, i requisiti da porre in relazione all'involucro edilizio, ovvero le prestazioni che quest'ultimo deve offrire; prestazioni che vengono disposte dalla chiusura attraverso i fenomeni fisici che essa risulta in grado di produrre o sfruttare in funzione dei materiali, delle geometrie, delle tecnologie e delle configurazioni funzionali impiegati.

I fattori e i fenomeni fisici a cui si fa riferimento sono stati descritti nel primo capitolo di questo manuale. Per necessità di sintesi, sono stati riportati quelli che permettono di introdurre le principali valutazioni necessarie per progettare un involucro a comportamento dinamico. E' evidente che per ogni singolo intervento edilizio possono intervenire altri fattori e fenomeni fisici che hanno una rilevanza tale da influire sulle scelte progettuali e costruttive; rimane valida, in ogni caso, la metodologia di analisi e valutazione adottata e che può essere utilizzata anche al manifestarsi di esigenze diverse da quelle proposte.

L'involucro a comportamento dinamico si configura come una chiusura capace di offrire prestazioni variabili grazie allo sfruttamento o all'innescò (simultaneo o differito secondo le necessità) di più fenomeni fisici; ciò consente alla chiusura di rispondere in tempo reale ai requisiti indotti dalla presenza e/o dall'influenza dei fattori, fissi e variabili, che agiscono su di essa.

Tale dinamicità, spesso, costituisce un attributo tradizionalmente insito nella natura stessa dell'involucro in quanto offre comportamenti diversi al variare dei fattori di influenza; al contrario, la predisposizione, deliberata e calcolata, di una soluzione costruttiva avente un comportamento dinamico sequenzialmente preordinato costituisce un approccio innovativo al processo di progettazione.

La soluzione costruttiva conforme viene determinata attraverso lo sviluppo di un percorso metodologico preciso, secondo il quale definite e diverse prestazioni sono regolate dall'involucro secondo una specifica successione temporale; la soluzione

conforme prevede, quindi, una composizione materica, geometrica, dimensionale, costruttiva e funzionale capace di rispondere, secondo una sequenza stabilita, ai requisiti indotti dai fattori esterni e soddisfatti dai fenomeni fisici innescati.

Particolare importanza assume il requisito di integrabilità tra i diversi strati; integrabilità relativa non solamente agli aspetti costruttivi e funzionali, ma soprattutto agli aspetti prestazionali, evitando episodi di non coerenza tra i fenomeni fisici prodotti o indotti (fenomeni prodotti da una pelle che annullano le prestazioni offerte dall'altra).

Ad esempio, un semplice oggetto coerentemente dimensionato (una pensilina o un balcone) emergente da una superficie verticale trasparente, in condizioni estive offre un efficace controllo dall'irraggiamento (evitando parte dell'effetto serra che la parete vetrata altrimenti produrrebbe); in condizioni invernali, invece, permette il recupero di energia solare (consentendo, in questo caso, la generazione dell'effetto serra precedentemente evitato) e la protezione dalla pioggia. La dinamicità delle prestazioni, banalmente ottenuta per la semplice ragione del variare dei fattori di influenza, può però essere rigidamente controllata in tutti i suoi effetti e nelle prestazioni solo attraverso una progettazione consapevole; ovvero, una progettazione capace di valutare nei dettagli quando e come i fenomeni fisici vengono innescati grazie all'impiego di una soluzione costruttiva corretta, sia per i materiali impiegati (per la pensilina e per la facciata vetrata) che per le dimensioni predisposte (spessore dell'oggetto e profondità).

Ancora, la variabilità climatica può ad esempio essere controllata attraverso una tradizionale muratura multistrato capace di modulare correttamente gli effetti di isolamento termico e inerzia termica impiegando materiali e spessori secondo corrette regole funzionali e termodinamiche.

Un aspetto importante, che conferma il valore positivo della variabilità delle prestazioni dell'involucro, è dato dal clima del comprensorio geografico e climatico considerato: per queste aree non esiste una sola condizione climatica, estrema ed univoca, alla quale attenersi per definire i requisiti termici di progettazione della chiusura (come ad esempio avviene per il nord dell'Europa); al contrario, esistono più condizioni differenti (estiva ed invernale) ugualmente estreme e contrapposte, a cui le soluzioni tecnologiche a comportamento dinamico possono rispondere sempre in maniera adeguata.

Alcuni fattori di influenza sono usualmente e tradizionalmente riconosciuti e sono da sempre valutati durante il processo di progettazione. Altri fattori invece, solo ultimamente costituiscono un vincolo da prevedere al momento della definizione

dell'involucro edilizio. Questa trasformazione dell'insieme dei requisiti che attengono alla chiusura degli edifici è in parte stimolata dal modificarsi delle esigenze dell'utenza; la maggiore causa di tale mutamento è, però, indotta dall'introduzione delle nuove e cogenti norme che disciplinano l'intero ambito edilizio (in specifico si fa riferimento alla legislazione relativa a requisiti energetici). Una significativa conseguenza di queste recenti condizioni porta alla necessità di valutare con diversa attenzione la progettazione di tutte quelle soluzioni di involucro spesso considerate innovative e che hanno origine in contesti ambientali e climatici diversi da quello italiano, ma che sono state trasferite da anni anche nel contesto nazionale. Efficaci esempi sono le chiusure completamente trasparenti o le chiusure con pannelli multistrato in legno; entrambe le soluzioni costruttive, adottate tradizionalmente in ambiti climatici nord europei sono state importate in Italia e comunemente applicate anche se sfruttano o innescano fenomeni fisici a volte non compatibili con il contesto mediterraneo.

Si propone, di seguito alla valutazione di ciascuna famiglia di involucro, una sorta di abaco di soluzioni che hanno la funzione di riassumere e sistematizzare le informazioni relative alla scelta della corretta tecnologia, da applicare in funzione delle variabili, esterne ed interne, che influiscono sul progetto.

Gli abachi, distinti per destinazione d'uso e tipologia edilizia, rilevano l'applicabilità degli involucri evoluti a comportamento dinamico al variare dell'orientamento e della tipologia costitutiva della pelle interna od esterna.

7.2.1 Trasparente su trasparente

L'involucro è composto da entrambe le pelli trasparenti e si caratterizza nella predisposizione di un'intercapedine, collocata tra le due facciate vetrate, adeguatamente ventilata.

Le forme e le dimensioni dell'intercapedine, unitamente alla possibilità di dirigere i flussi d'aria secondo i criteri di ventilazione individuati nel paragrafo 4.1.3, danno origine a diverse tipologie di involucro².

Il comportamento dinamico dell'involucro è funzionale all'orientamento, ovvero alla collocazione delle lastre in vetro di entrambe le facciate rispetto alla posizione del sole durante la giornata e durante l'anno solare. Il principio basilare per

² In questa sede vengono forniti cenni relativi alla famiglia di involucro trasparente su trasparente in quanto ampiamente studiate e descritte in ricerche e pubblicazioni del gruppo di ricerca di appartenenza, riportate in bibliografia.

l'applicazione di questa tecnologia è quindi definito dall'esigenza di applicare l'involucro esclusivamente nei prospetti degli edifici direttamente raggiunti dai raggi solari. Al momento della progettazione si devono considerare, pertanto, gli orientamenti sud, ovest ed est, escludendo la disposizione dell'involucro a nord. L'applicazione di un involucro trasparente su trasparente a nord non comporta la formazione di particolari condizioni negative ma, semplicemente, non produce quella dinamicità di prestazioni proprie del sistema costruttivo (a meno che non si impieghi aria proveniente da altri vani, come l'interrato, oppure dall'impianto di climatizzazione – aria di rifiuto); in ogni caso, l'impiego di questa famiglia in questo orientamento può essere valutata per esigenze relative all'isolamento termico e per mantenere una coerenza architettonica con altri prospetti dell'edificio. La facciata deve essere collocata in posizione tale da ricevere la massima quantità possibile di energia solare, considerando eventualmente la possibilità di intervenire sul controllo della radiazione solare incidente dei mesi estivi attraverso la definizione di particolari soluzioni costruttive che coinvolgono l'edificio o parti di esso (aggetti di solai, balconi, ecc.), capaci di proteggere la superficie vetrata interna durante le ore di elevato irraggiamento; non sono da escludere, nel caso di edifici di ridotta altezza, soluzioni di protezione solare dell'involucro ottenute anche tramite l'impiego della vegetazione.

Le prestazioni richieste all'involucro per il clima continentale/mediterraneo del contesto geografico di riferimento prevedono che la chiusura, nel suo complesso, possieda allo stesso tempo un elevato livello di isolamento termico, per rispondere alle rigide condizioni invernali, ed una buona capacità di non trattenere il calore recuperato dall'intercapedine nelle condizioni estive. Per controllare queste prestazioni si agisce sulle caratteristiche fisiche delle due pelli, collocando facciate isolanti e facciate semplici in posizione esterna o interna a seconda dei requisiti complessivamente richiesti.

I fattori esterni che caratterizzano il contesto italiano risultano estremamente incisivi nella definizione delle prestazioni di questa famiglia di involucri. La presenza di condizioni climatiche di tipo mediterraneo/continentale porta, infatti, ad un'intensificazione degli effetti, positivi e negativi, prodotti dai fattori esterni sull'involucro e derivati da un elevato riscaldamento della camera d'aria per opera dei raggi solari incidenti. È preferibile perciò applicare la facciata isolante nella pelle interna, ottenendo prestazioni intermedie, capaci comunque di rispondere ai requisiti di entrambe le stagioni (estiva ed invernale). Per la pelle esterna si possono predisporre facciate semplici, costituite da un unico strato vetrato e da sistemi di supporto e fissaggio non provvisti di taglio termico. Un involucro così

configurato risulta maggiormente permeabile e capace di lasciar uscire velocemente il calore dell'intercapedine verso l'esterno; la facciata isolante interna limita, inoltre, la trasmissione del calore prodotto nell'intercapedine verso il vano, grazie al ridotto coefficiente di trasmissione termica che la contraddistingue.

Questa specifica prestazione trova utilità anche in condizione invernale, quando le temperature dell'intercapedine sono generalmente inferiori a quelle del vano interno.

Limitare le prestazioni di isolamento termico della chiusura alla facciata interna comporta la possibilità di semplificare il funzionamento dinamico dell'involucro, evitando l'impiego di dispositivi di ventilazione orientabili, e quindi di contenere la complessità del sistema costruttivo. Ciò, infatti, permette di garantire la presenza di una chiusura interna ad elevato potere isolante, capace di controllare il microclima interno anche se nell'intercapedine si attestano temperature molto elevate in estate o notevolmente ridotte in inverno (comunque mai al di sotto dello zero).

Tale configurazione fisica della pelle interna consente di adottare un sistema di facciata di tipo continuo tradizionale e di introdurre con facilità aperture dirette sull'intercapedine per la ventilazione naturale dei vani o per le operazioni di manutenzione; la pelle esterna, invece, permette un maggiore livello di autonomia progettuale nella scelta dei sistemi di supporto, utilizzando anche fissaggi puntuali o sistemi appesi.

Per le caratteristiche del clima regionale è necessario predisporre griglie di ventilazione tali da assicurare una efficace ventilazione dell'intercapedine; per fare ciò, soprattutto se la ventilazione è prodotta esclusivamente da naturali effetti termofisici dell'aria, si deve operare sulla dimensione e sulla collocazione di queste ultime, evitando che l'aria, per uscire dall'involucro, debba percorrere un tragitto eccessivamente lungo.

E' importante sottolineare che l'attenzione deve essere posta soprattutto alle dimensioni dei dispositivi in ingresso dell'aria; essi devono risultare adeguatamente dimensionati per permettere un agevole passaggio nell'intercapedine di aria esterna. I dispositivi in uscita possono anche essere anche dimensionalmente più ridotti in quanto, nelle condizioni estive, l'elevata pressione dell'aria calda presente nell'intercapedine consente una efficace ventilazione.

Per eludere possibili defezioni nella ventilazione dell'intercapedine ed avere la certezza di una sicura espulsione del calore recuperato si può adottare una ventilazione meccanica. L'adozione di una ventilazione esclusivamente naturale dell'intercapedine può, infatti, non risultare una soluzione adeguata, soprattutto

quando il microclima dei vani interni non è controllato da un impianto di condizionamento capace di compensare l'eventuale inefficienza dell'involucro.

La direzione di ventilazione più efficace, soprattutto per il controllo delle temperature dell'intercapedine nei mesi estivi, è quella esterna; tale direzione permette, infatti, di convogliare verso l'esterno il calore recuperato nell'intercapedine, riducendo al minimo il surriscaldamento dell'involucro e dei vani interni.

Anche la direzione di ventilazione mista può essere utilizzata, purché venga predisposta una corretta gestione dell'involucro; il rischio della condizione estiva, per questa direzione di ventilazione, è dato dalla possibilità che l'elevato calore recuperato nell'intercapedine possa entrare nei vani a causa di una non corretta configurazione dei dispositivi apribili presenti sulla pelle interna. Va comunque evidenziato che tale direzione di ventilazione risulta termicamente molto vantaggiosa, soprattutto nelle stagioni intermedie (primavera ed autunno), quando la temperatura raggiunta tra le due facciate vetrate è decisamente superiore a quella dei vani grazie al forte irraggiamento solare (superiore anche di 20°C rispetto a quella dell'aria esterna). Con tali condizioni il volume di aria contenuto nell'intercapedine, anche se ridotto rispetto a quello presente nell'unità ambientale collegata all'involucro, trasporta una quantità di calore notevole, capace, se introdotto all'interno, di portare un sensibile guadagno termico al vano prospiciente la doppia pelle. La stagione invernale, invece, prevede un guadagno termico nell'intercapedine decisamente troppo basso per convogliare l'aria riscaldata nell'intercapedine verso i vani interni (anche nel caso di applicazione di griglie esterne chiudibili); ciò dipende dal ridotto rapporto tra il volume dell'aria di intercapedine e quello del vano cui è applicato l'involucro, in relazione alle temperature raggiunte all'interno di quest'ultima. L'aria contenuta tra le due pelli, infatti, anche in condizioni di elevato irraggiamento solare, raggiunge temperature al massimo uguali o poco superiori alla temperatura di benessere richiesta dell'interno del fabbricato. Pertanto, portare tale volume di aria verso l'interno non comporterebbe alcun beneficio di rilievo ma, anzi, raffredderebbe velocemente l'involucro riducendone il potere isolante.

Per poter governare facilmente le prestazioni dinamiche dell'involucro le tipologie più adatte sono quelle che prevedono un'elevata compartimentazione dell'intercapedine. In particolare, i sistemi a canali e i sistemi a singoli elementi, per la ridotta estensione dello spazio contenuto tra le due facciate, rappresentano le tipologie più adeguate a controllare agevolmente le direzioni e le temperature dell'aria di intercapedine.

I sistemi a tutta superficie, definendo intercapedini di elevate dimensioni (corrispondenti allo sviluppo altimetrico dell'edificio), comportano invece un difficile controllo delle temperature dell'aria presente tra le due facciate ai diversi piani dell'edificio; l'aria contenuta tra le due pelli tende costantemente a stratificarsi, non solamente nei mesi più caldi ma anche nei mesi freddi, dove si innesca un movimento continuo (anche se di ridotta velocità) che riduce il potere isolante complessivo dell'involucro.

Gli involucri della famiglia trasparente su trasparente possono essere utilizzati sia per edifici con destinazione d'uso residenziale che, soprattutto, per edifici a destinazione d'uso terziaria.

Nella destinazione d'uso residenziale sono preferibilmente applicabili come soluzioni di chiusura esterna di spazi destinati a zone giorno per evidenti motivazioni legate all'oscuramento dei vani e al benessere psicologico.

Gli involucri in oggetto possono essere applicati anche negli spazi destinati ad aree di circolazione e collegamento degli edifici residenziali (con qualsiasi direzione di ventilazione dello spazio di intercapedine).

Nel terziario, la libertà nella scelta della direzione di ventilazione è maggiore in quanto sono minori i vincoli legati all'uso dei vani (anche di carattere normativo); è infatti possibile utilizzare ormai ovunque (anche nei Comuni dove la normativa è più restrittiva) involucri con direzione di ventilazione mista aventi la funzione di ventilare i vani interni attraverso lo spazio di intercapedine.

Anche la tipologia edilizia influisce sulla scelta delle tipologie di facciata (tutta superficie, canali, singoli elementi). Gli edifici isolati sono quelli che meglio si prestano all'applicazione di tutte le tipologie di facciata, grazie alla limitata dimensione dei fabbricati e alla presenza di una unica unità immobiliare (a cui corrisponde una sola gestione funzionale dell'involucro). La medesima considerazione può essere estesa anche agli edifici a schiera in quanto ogni porzione di fabbricato (da cielo a terra) non supera generalmente i tre piani e appartiene ad una unica unità immobiliare.

Gli edifici in linea, sia a destinazione d'uso residenziale che terziaria, sono generalmente caratterizzati dalla presenza di più unità immobiliari (una o più per ogni piano dell'edificio); pertanto, sono da escludere le facciate a tutta superficie a vantaggio di facciate a canali orizzontali (purché ogni canale affacci sulla medesima proprietà) o a singoli elementi. Ogni unità di ventilazione deve, infatti, appartenere alla stessa unità immobiliare per ovvie motivazioni legate alla gestione dell'unità (che deve essere univoca). Inoltre, lungo i prospetti dell'edificio possono

allinearsi verticalmente categorie di spazi differenti, caratterizzate da altrettanto differenti richieste di prestazione agli involucri che le delimitano esternamente. In questo caso, la definizione di una soluzione adeguata a rispondere a tutte le esigenze che si possono manifestare, diventa più difficoltosa.

Allo stesso modo gli edifici a torre risentono delle medesime problematiche, a meno che l'edificio stesso non appartenga ad una unica proprietà (destinazioni terziarie); in quest'ultimo caso, anche la tipologia a tutta superficie può essere considerata applicabile.

TRASPARENTE SU TRASPARENTE														
ORIENTAMENTO	TIPOLOGIA EDILIZIA													
	EDIFICIO ISOLATO				EDIFICIO A SCHIERA		EDIFICIO IN LINEA				EDIFICIO A TORRE			
	TIPOLOGIA DI FACCATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE
EST	tutta superficie residenziale	esterna mista	tutta superficie terziario	esterna mista	tutta superficie residenziale	esterna mista	tutta superficie residenziale	esterna mista	tutta superficie terziario	esterna mista	tutta superficie residenziale	esterna mista	tutta superficie terziario	esterna mista
	canali residenziale	esterna mista	canali terziario	esterna mista	canali residenziale	esterna mista	canali residenziale	esterna mista	canali terziario	esterna mista	canali residenziale	esterna mista	canali terziario	esterna mista
	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi terziario	esterna mista	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi terziario	esterna mista	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi terziario	esterna mista
OVEST	tutta superficie residenziale	esterna mista	tutta superficie terziario	esterna mista	tutta superficie residenziale	esterna mista	tutta superficie residenziale	esterna mista	tutta superficie terziario	esterna mista	tutta superficie residenziale	esterna mista	tutta superficie terziario	esterna mista
	canali residenziale	esterna mista	canali terziario	esterna mista	canali residenziale	esterna mista	canali residenziale	esterna mista	canali terziario	esterna mista	canali residenziale	esterna mista	canali terziario	esterna mista
	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi terziario	esterna mista	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi terziario	esterna mista	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi terziario	esterna mista
SUD	tutta superficie residenziale	esterna mista	tutta superficie terziario	esterna mista	tutta superficie residenziale	esterna mista	tutta superficie residenziale	esterna mista	tutta superficie terziario	esterna mista	tutta superficie residenziale	esterna mista	tutta superficie terziario	esterna mista
	canali residenziale	esterna mista	canali terziario	esterna mista	canali residenziale	esterna mista	canali residenziale	esterna mista	canali terziario	esterna mista	canali residenziale	esterna mista	canali terziario	esterna mista
	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi terziario	esterna mista	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi terziario	esterna mista	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi terziario	esterna mista
NORD	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi terziario	esterna mista	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi terziario	esterna mista	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi terziario	esterna mista
	canali residenziale	esterna mista	canali terziario	esterna mista	canali residenziale	esterna mista	canali residenziale	esterna mista	canali terziario	esterna mista	canali residenziale	esterna mista	canali terziario	esterna mista
	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi terziario	esterna mista	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi terziario	esterna mista	singoli elementi residenziale	esterna mista	singoli elementi terziario	esterna mista
SOLUZIONE CONFORME														1-a
														1-b
														1-c
														1-a
														1-b
														1-c
														1-a
														1-b
														1-c

7.2.2 Trasparente su opaco

L'involucro è composto da una pelle esterna trasparente ed una pelle interna opaca, separate da un'intercapedine ventilata.

Il sistema così configurato, per le caratteristiche meccaniche e costruttive delle due pelli, può essere suddiviso in tre tipologie: tutta superficie, canali e singoli elementi.

Tutta superficie Come per i sistemi trasparente su trasparente, l'involucro si configura con una sola unità di intercapedine che ricopre l'intero sviluppo della chiusura. La pelle esterna trasparente è completamente separata da quella interna opaca e non vi sono elementi di compartimentazione della camera d'aria.

Le direzioni di ventilazione compatibili sono di tipo esterno e di tipo misto. Nel primo caso, la ventilazione dei vani interni all'edificio si attua attraverso un sistema meccanico di ricambio dell'aria interna indipendente dall'involucro, oppure attraverso la predisposizione di aperture dirette che non affacciano sull'intercapedine ma direttamente verso l'esterno; nel secondo, invece, sono previste aperture sulla pelle interna che affacciano sull'intercapedine. La ventilazione dell'intercapedine è ottenuta applicando i relativi dispositivi, fissi od orientabili, collocati alla base ed in sommità della pelle esterna trasparente.

Le dimensioni dell'intercapedine sono funzionali all'innescio dell'effetto camino e, pertanto, dipendono dallo sviluppo in altezza dell'involucro. Come per la famiglia che prevede entrambe le pelli trasparenti, anche questa famiglia di involucri ha uno sviluppo altimetrico dell'intercapedine non inferiore ai 6/7 metri (2 piani dell'edificio); la larghezza di quest'ultima non deve risultare inferiore ai 50/60 centimetri (a meno che non si impieghi una ventilazione meccanica dello spazio compreso tra le due pelli).

In generale, per la tipologia a tutta superficie si prevede l'applicazione, per la composizione della pelle interna, di facciate cosiddette di tipo pesante (paragrafo 4.1.4). Le facciate interne di tipo pesante sono generalmente realizzate con tecnologie costruttive che adottano materiali tradizionali, tipici soprattutto delle aree geografiche mediterranee, ovvero di località che richiedono agli involucri prestazioni rispondenti ad un clima contraddistinto da elevate temperature estive (piccoli elementi semplici o per sistemi, pannelli prefabbricati in cls con uno spessore minimo di 20/25 centimetri). Queste facciate sono, pertanto, caratterizzate dalla presenza di materiali dotati di un'elevata massa, capace, in particolare, di controllare, nelle condizioni estive, le elevate temperature raggiunte dall'aria di intercapedine nel settore superiore dell'involucro a tutta superficie.

Nel caso in cui la pelle interna pesante coincida con la struttura portante dell'involucro, la pelle esterna può essere sostenuta da un telaio indipendente rispetto al volume dell'edificio; oppure, può essere fissata a quella interna attraverso elementi puntuali di sostegno delle lastre vetrate direttamente agganciati alla muratura. Nell'ipotesi di applicazione di un telaio aggiuntivo rispetto alla struttura dell'edificio, la pelle esterna trasparente può essere sostenuta utilizzando qualsiasi sistema di supporto (facciata continua tradizionale, facciata continua strutturale o facciata a fissaggi puntiformi).

Nel caso in cui, invece, la pelle interna svolga la funzione di tamponamento, la pelle esterna vetrata può essere fissata, in alternativa ad un telaio indipendente, alla struttura in elevazione dell'edificio; in questa ipotesi la struttura di supporto della pelle esterna (montanti e traversi della facciata trasparente) deve essere realizzata in modo da non compartimentare l'intercapedine.

In termini costruttivi, è possibile utilizzare per la composizione della pelle interna anche facciate cosiddette di tipo leggero (paragrafo 4.1.4). In queste soluzioni, generalmente ottenute con l'impiego di tecnologie a secco, vengono applicati materiali in spessori sottili, dotati di un ridotto peso specifico, che alle prestazioni offerte dall'inerzia termica (tipica dei materiali pesanti) sostituiscono quelle offerte dall'isolamento. La pelle esterna può, anche in questa condizione, essere fissata ad un telaio aggiuntivo indipendente dall'edificio oppure può essere direttamente agganciata alla struttura in elevazione di quest'ultimo.

Ecco perché, in presenza di involucri pesanti, è più vantaggioso l'impiego di soluzioni a tutta superficie o a canali (preferibilmente verticali), mentre in presenza di involucri leggeri è possibile anche l'impiego di singoli elementi.

Nell'intercapedine tra le due facciate possono essere inseriti dispositivi per la fruizione dello spazio tra le pelli, da realizzare con passerelle grigliate per consentire la circolazione dell'aria calda diretta verso l'alto.

Gli elementi di protezione solare e controllo dall'introspezione sono collocati esclusivamente in corrispondenza delle aperture situate sulla pelle interna e possono essere oltre che le veneziane, anche sistemi di tipo tradizionale (tapparelle, persiane, ecc.), purché i loro movimenti, se orientati verso l'intercapedine, siano compatibili con la profondità di quest'ultima.

La tipologia a canali prevede l'applicazione di unità di ventilazione a prevalente sviluppo orizzontale aventi un'altezza corrispondente ad un interpiano. L'involucro risulta composto da un numero di intercapedini equivalente al numero di piani dell'edificio che affacciano sulle due pelli.

Canali

Le direzioni di ventilazione compatibili sono del tipo esterno e del tipo misto; la direzione di ventilazione interna, per quanto tecnicamente realizzabile, non costituisce una configurazione conveniente per le difficoltà costruttive indotte dalle caratteristiche della pelle interna e per il conseguente complesso funzionamento dell'involucro, non conforme alle generali condizioni climatiche mediterranee.

Come per la tipologia a tutta superficie, la ventilazione dei vani può essere indipendente dall'involucro (meccanica o tramite aperture dirette non collocate in corrispondenza dell'involucro evoluto a comportamento dinamico) oppure possono essere presenti delle finestre che affacciano sull'intercapedine (ventilazione mista). I dispositivi di ventilazione dell'intercapedine verso l'esterno sono collocati alle estremità delle stesse (nel settore superiore ed inferiore di ogni unità di ventilazione) e possono essere costituiti da griglie (fisse o orientabili) oppure da porzioni di facciata apribili (in questo caso la pelle esterna deve essere costituita da facciate continue tradizionali o strutturali).

La larghezza dell'intercapedine, dato lo sviluppo altimetrico che contraddistingue lo spazio compreso tra le due pelli, non supera i 30/40 centimetri.

Le facciate a canali verticali generalmente non vengono realizzate a causa della complessità costruttiva che contraddistingue il sistema di composizione e compartimentazione degli spazi di intercapedine (unità di ventilazione e camini), difficilmente compatibile con le caratteristiche costruttive e morfologiche della pelle interna opaca, anche se presentano diverse caratteristiche positive.

La pelle interna può essere realizzata sia con facciate di tipo pesante sia con facciate di tipo leggero. In entrambi i casi la pelle esterna può essere fissata direttamente alla struttura in elevazione dell'edificio. La facciata trasparente può essere, infatti, agganciata al telaio portante (o alla muratura in caso di pelle interna di tipo portante) oppure ai solai dell'edificio. Nella prima condizione è necessario aggiungere gli elementi di compartimentazione orizzontali nell'intercapedine (collegati ad entrambe le pelli); essi possono essere costituiti anche direttamente dai montanti e traversi che reggono la facciata esterna trasparente. Nella seconda condizione i solai aggettano nello spazio di intercapedine, identificando un diaframma orizzontale di separazione delle unità di ventilazione e svolgendo, congiuntamente, la funzione di sostegno della pelle esterna (in questo caso realizzabile anche con semplici infissi fissati a livello di ogni pavimento e soffitto).

Anche per la tipologia a canali è possibile, anche se non conveniente, date le caratteristiche geometriche dello spazio compreso tra le due pelli, aggiungere un telaio indipendente dall'edificio al quale agganciare la pelle esterna trasparente. La presenza di un sistema indipendente di supporto della facciata esterna consente di

adottare qualsiasi sistema di fissaggio delle lastre trasparenti (facciate continue tradizionali, facciate continue strutturali, facciate a fissaggio puntiforme).

La tipologia costruttiva a singoli elementi per questa famiglia di involucri è difficilmente applicabile, date le notevoli differenze che caratterizzano, in termini tecnologici e costruttivi, le due pelli dell'involucro. Differenze che rendono onerosa e difficoltosa una medesima scomposizione modulare di entrambe le facciate.

Singoli elementi

Tra le soluzioni costruttive che meglio consentono di ottenere una tipologia a singoli elementi non particolarmente complessa, una delle più praticabili prevede che le singole unità di ventilazione coincidano, in termini di sviluppo planimetrico e altimetrico, al telaio portante dell'edificio. Con questa configurazione entrambe le pelli possono essere considerate quali semplici tamponamenti e per questo motivo si prediligono, per la facciata interna, chiusure leggere. Le direzioni di ventilazione compatibili sono di tipo esterno e misto (aperture presenti sulla pelle interna che affacciano sull'intercapedine areata).

In alternativa alla soluzione citata, è possibile realizzare un sistema a singoli elementi prevedendo l'applicazione di un sistema di facciata di tipo continuo per la pelle trasparente direttamente fissato all'edificio. Questa soluzione impone che i moduli di facciata coincidono con le unità di ventilazione; ogni unità è fisicamente delimitata dalla struttura portante della facciata (montanti e traversi) che fungono anche da elementi di compartimentazione orizzontale e verticale. Tale soluzione è compatibile con una direzione di ventilazione di tipo esterno per ogni elemento ventilante; aperture dirette verso l'esterno sono eventualmente realizzabili utilizzando un modulo di facciata esterna in cui la pelle interna viene eliminata e la pelle esterna si configura come un elemento apribile. Per questa ipotesi costruttiva sono applicabili indifferentemente per la chiusura interna sistemi pesanti o sistemi leggeri. Non è possibile effettuare alcuna operazione di manutenzione dello spazio di intercapedine.

I criteri generali che regolano il funzionamento della famiglia di involucri trasparente su opaco possono essere considerati simili a quelli della famiglia trasparente su trasparente; ciò è dovuto alla presenza di una equivalente intercapedine ventilata che permette di ottenere un analogo funzionamento dinamico dell'involucro; in particolare, si fa riferimento alla gestione del movimento dell'aria di intercapedine che può essere trattenuta o espulsa attraverso le pelli con variabili dipendenti dalle condizioni climatiche esterne e dal microclima interno richiesto.

Il funzionamento attivo della chiusura verso l'esterno viene gestito attraverso aperture o griglie poste in corrispondenza della facciata esterna vetrata, adatta ad accogliere agevolmente i dispositivi a configurazione variabile. Come per la famiglia trasparente su trasparente, i dispositivi per la ventilazione aperti permettono l'aerazione dell'intercapedine, favorendo l'effetto camino innescato dall'irraggiamento solare e attivando il conseguente raffrescamento della facciata interna; a dispositivi chiusi, l'effetto serra che si genera tra i due involucri (grazie alla presenza del vetro collocato sulla pelle esterna) determina la formazione di un cuscinetto di aria capace di isolare termicamente e di cedere calore alla facciata interna che lo accumula e lo trasmette poi ai vani retrostanti.

La necessità di sfruttare l'irraggiamento solare per l'innescare dei fenomeni di effetto serra ed effetto camino indirizza già le valutazioni relative agli orientamenti possibili di applicazione dell'involucro (est/sud/ovest); l'applicazione dell'involucro a nord, come già descritto, garantisce prestazioni dinamiche solamente se l'intercapedine è ventilata con aria a temperatura controllata (effetto camino estivo – effetto tampone³ invernale); per questo orientamento, l'applicazione di una chiusura leggera, invece, favorisce le prestazioni legate all'isolamento termico.

L'applicazione di una chiusura opaca produce, rispetto agli involucri trasparente su trasparente, condizioni termiche e dinamiche indotte dalle proprietà fisiche e meccaniche del materiale, o dei materiali, che compongono la facciata interna. Il comportamento complessivo di un involucro trasparente su opaco, sia nella condizione estiva che in quella invernale, risulta quindi sensibilmente differente rispetto a quello di uno completamente trasparente. L'interruzione nel passaggio dei raggi solari verso l'interno (evitando la formazione dell'effetto serra all'interno dei vani) e i fenomeni fisici innescati dalla pelle interna in relazione all'isolamento e all'inerzia termica determinano, infatti, una serie di prestazioni complessive diverse. La pelle interna svolge la principale funzione di chiusura dell'edificio. In caso di adozione di chiusure interne di tipo pesante, durante il periodo invernale, le

³ "Lo spazio tampone è un mezzo efficace per risparmiare energia. Aumenta le resistenze di scambi superficiali fermando il vento grazie alle proprie pareti esterne. Qualsiasi spazio chiuso ma non riscaldato che si trovi in contatto con uno spazio riscaldato è uno spazio tampone il cui effetto è particolarmente importante nella costruzione tradizionale (senza isolamento specifico). Al giorno d'oggi, gli spazi tampone a ridosso di muri fortemente isolati sono meno efficaci: le resistenze di questi ultimi è rinforzata soltanto dal 5% al 20%. Si tratta principalmente di garage o di corpi scala di immobili collettivi. Al contrario, le verande e gli atri d'ingresso hanno sempre effetto positivo: possono rinforzare la resistenza termica dal 30% al 40%, dato che le pareti vetrate sono poco isolanti, senza contare gli apporti di calore solare. L'effetto di uno spazio tampone si calcola con l'aiuto di un coefficiente b , senza unità. Essa moltiplica i coefficienti di trasmittanza U delle pareti precedenti e i coefficienti di trasmissione lineare dei ponti termici". Faragò, F. (a cura di), *Manuale pratico di edilizia sostenibile*, Esselibri – Simone, Napoli, 2008

caratteristiche fisiche del sistema rendono l'involucro equivalente al cosiddetto muro di Trombe, dove il calore solare viene catturato e accumulato dalla parete interna e trasmesso gradualmente, per conduzione termica, nell'edificio. Per portare verso l'interno il calore recuperato dall'intercapedine la tecnica più semplice consiste, invece, nello sfruttamento degli infissi posizionati in corrispondenza delle interruzioni dell'involucro interno, dedicate all'illuminazione naturale dei vani (finestre); aprendo direttamente gli infissi o inserendo in essi griglie di ventilazione a configurazione variabile, si ottiene un collegamento diretto tra il fabbricato e l'intercapedine.

In condizioni di elevate temperature esterne il funzionamento del sistema di facciata è invece essenzialmente caratterizzato dalla ventilazione dell'intercapedine attraverso l'involucro esterno. La presenza di una chiusura interna contraddistinta da una elevata massa consente alla muratura di assorbire calore senza trasmettere, nel breve periodo, all'interno degli ambienti le variazioni di temperatura che si verificano all'esterno; durante la notte, la ventilazione dell'intercapedine, l'escursione termica e l'assenza di irraggiamento solare concorrono nel raffreddare la muratura.

L'applicazione di una pelle dotata di massa consente, quindi, di applicare anche tipologie di involucro in cui risulta difficoltoso garantire una corretta ventilazione dell'intercapedine; le caratteristiche fisiche della chiusura, infatti, permettono di controllare il calore in eccesso prodotto nell'intercapedine anche nelle ore più calde delle giornate estive.

Le considerazioni prodotte per gli involucri che impiegano una pelle interna di tipo pesante possono essere estese anche alle soluzioni costruttive derivanti da interventi di retrofit su edifici esistenti. Ad una pelle opaca appartenente ad un fabbricato oggetto di ristrutturazione (generalmente realizzata con sistemi costruttivi tradizionali) è possibile affiancare, verso l'esterno, una pelle trasparente con la conseguente configurazione di un involucro a comportamento dinamico appartenente alla famiglia trasparente su opaco.

Il funzionamento dinamico dell'involucro in caso di adozione di chiusure interne leggere, sia nella condizione estiva che in quella invernale, è molto simile a quello della famiglia trasparente su trasparente, con la sola differenza prestazionale definita dalle proprietà fisiche del tamponamento interno opaco. La pelle interna opaca risulta, infatti, maggiormente isolante rispetto a quella completamente trasparente, grazie alle proprietà termiche dei materiali con cui viene realizzata la facciata interna (generalmente composta da pannelli multistrato); quest'ultima può, inoltre, correggere ulteriormente le proprie prestazioni in funzione del materiale

con cui viene rivestita la superficie collocata verso l'intercapedine (legno, metallo, ceramica, pietra, ecc.), offrendo, ad esempio, una maggiore capacità di riflessione dei raggi solari incidenti. L'impiego di pelli interne di tipo leggero può essere considerato corretto ad, esempio, per gli involucri orientati a nord con una ventilazione dell'intercapedine ottenuta attraverso il passaggio di aria proveniente da vani a temperatura controllata.

E' comunque importante, per entrambe le tipologie di pelle interna (pesanti o leggere) agire sulle caratteristiche della pelle esterna, adottando tamponamenti non montati in soluzione isolante, sistemi di fissaggio senza taglio termico e predisponendo dispositivi di ventilazione con dimensioni tali da garantire una adeguata ventilazione dell'intercapedine.

Sia in caso di adozione di pelle interna pesante che in caso di adozione di pelle interna leggera, la definizione di una facciata interna che offre prestazioni complessive tipiche di una chiusura garantisce anche il rispetto degli standard acustici; è opportuno comunque valutare soluzioni di compartimentazione dell'intercapedine e dispositivi di ventilazione tali da non produrre effetti sonori sgraditi.

Questa famiglia di involucri può essere adottata sia per la destinazione d'uso terziaria che per quella residenziale. La presenza di una pelle interna opaca consente, a questi involucri, un livello di applicabilità superiore rispetto a quelli trasparente su trasparente (soprattutto per le unità ambientali destinate a zone notte o a servizi, dove il controllo dall'introspezione costituisce un requisito fondamentale della chiusura); per la destinazione d'uso residenziale, la direzione di ventilazione dell'intercapedine è sempre di tipo misto, ad esclusione delle soluzioni in cui l'involucro non è direttamente interessato dalla presenza di aperture.

La tipologia di facciata a tutta superficie è applicabile esclusivamente agli edifici isolati e agli edifici a schiera; essa è consentita anche per gli edifici in linea e a torre, purché appartenenti ad una singola proprietà e destinati ad un uso esclusivamente terziario. La tipologia a canali è applicabile, come per gli involucri della famiglia trasparente su trasparente, per tutte le tipologie edilizie a condizione che su ogni canale di ventilazione affacci solo la medesima unità immobiliare.

La presenza di una pelle interna opaca offre, inoltre, la possibilità di modificare nel tempo le dimensioni e la destinazione dei vani che affacciano sull'involucro senza interferire sulla tipologia di facciata e sul suo aspetto architettonico.

TRASPARENTE SU OPACO																
ORIENTAMENTO	PELLE INTERNA	TIPOLOGIA EDILIZIA												SOLUZIONE CONFORME		
		EDIFICIO ISOLATO				EDIFICIO A SCHIERA		EDIFICIO IN LINEA				EDIFICIO A TORRE				
		TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE		TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE
EST	PESANTE	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	2-a
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
		canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
		tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
	LEGGERA	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	2-b
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
		tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
		canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
OVEST	PESANTE	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	2-c
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
		canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
		tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
	LEGGERA	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	2-d
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
		tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
		canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	

TRASPARENTE SU OPACO															
ORIENTAMENTO	PELLE INTERNA	TIPOLOGIA EDILIZIA													
		EDIFICIO ISOLATO				EDIFICIO A SCHIERA		EDIFICIO IN LINEA				EDIFICIO A TORRE			
		TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE
SUD	PESANTE	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna
		canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna
		tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna
	LEGGERA	canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna
		angoli elementi	interna	angoli elementi	interna	angoli elementi	interna	angoli elementi	interna	angoli elementi	interna	angoli elementi	interna	angoli elementi	interna
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna
		tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna
NORD	LEGGERA	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna
		canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna
		angoli elementi	interna	angoli elementi	interna	angoli elementi	interna	angoli elementi	interna	angoli elementi	interna	angoli elementi	interna	angoli elementi	interna
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna
	PESANTE	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna
		canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna
		angoli elementi	interna	angoli elementi	interna	angoli elementi	interna	angoli elementi	interna	angoli elementi	interna	angoli elementi	interna	angoli elementi	interna
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna
SOLUZIONE CONFORME															
2-a															
2-b															
2-d															
2-e															
2-f															

7.2.3 Opaco su opaco

L'involucro è composto da due pelli opache separate da un'intercapedine d'aria a gestione controllata.

Questa famiglia di involucri consente la sola direzione di ventilazione esterna. Le aperture destinate alla ventilazione naturale dei vani od anche alla sola illuminazione degli stessi (in caso di ricambio meccanico dell'aria interna), interrompono puntualmente l'involucro predisponendo un infisso collocato in corrispondenza della pelle esterna o della pelle interna.

Il sistema così configurato, per le caratteristiche meccaniche e costruttive delle due pelli, può essere suddiviso in due tipologie: tutta superficie e canali.

Questa tipologia prevede l'applicazione di una unica intercapedine che si sviluppa lungo tutto il prospetto dell'edificio interessato dall'involucro evoluto a comportamento dinamico. *Tutta superficie*

Sono presenti dispositivi di ventilazione dell'intercapedine, applicati in soluzione fissa o mobile, collocati alla base ed in sommità della pelle esterna.

Le dimensioni dell'intercapedine sono funzionali ad una corretta ventilazione dello spazio compreso tra le due pelli. La ventilazione è indotta esclusivamente dall'effetto camino generato dal riscaldamento della pelle esterna, sottoposta alle radiazioni solari; quest'ultima, scaldandosi, trasmette il calore all'aria di intercapedine che sale verso l'alto. La pelle esterna è fissata alla pelle interna o, eventualmente, al telaio portante dell'edificio (nel caso in cui la chiusura interna non sia portante ma costituisca un semplice tamponamento); la struttura di supporto della pelle esterna è generalmente costituita da un telaio metallico al quale vengono fissati gli elementi di tamponamento. Tale telaio è costituito da montanti (fissati alla pelle interna) ed, eventualmente, traversi (ancorati ai montanti); la loro posizione, in termini di ancoraggio dei secondi rispetto ai primi, deve essere tale da garantire una completa circolazione dell'aria lungo tutto lo sviluppo dell'involucro in modo da non prefigurare un sistema di compartimentazione dell'intercapedine.

La pelle interna può essere di tipo pesante o di tipo leggero e può essere portante o di semplice tamponamento.

Per l'effetto termodinamico che deve predisporre (ventilazione per effetto camino), l'intercapedine ha una profondità di circa 15/20 centimetri. E' possibile introdurre aria a temperatura controllata nello spazio compreso tra le due, proveniente da vani specifici, avente la funzione di incrementare la ventilazione nelle condizioni estive e creare un effetto tampone nelle condizioni invernali. Nel periodo invernale,

l'opportunità di chiudere l'intercapedine agendo su dispositivi di ventilazione a configurazione variabile incrementa le prestazioni dell'involucro introducendo un effetto tampone capace di migliorare l'isolamento complessivo della chiusura nel suo complesso.

Canali Questa tipologia prevede l'applicazione di unità di intercapedine a sviluppo verticale (canali verticali) in cui altezza corrisponde allo sviluppo altimetrico dell'involucro e la larghezza corrisponde al modulo di fissaggio della pelle esterna. Gli elementi di compartimentazione dell'intercapedine coincidono, infatti, con il sistema di supporto della facciata esterna. In particolare, i montanti che reggono gli elementi di tamponamento della pelle esterna svolgono anche la funzione di separare lo spazio compreso tra le due pelli in unità indipendenti; la dimensione delle lastre della chiusura esterna regola, quindi, l'organizzazione modulare delle intercapedini. Queste ultime non superano, generalmente, una profondità di 15 centimetri.

Come per la tipologia a tutta superficie, anche la tipologia a canali può adottare dispositivi di ventilazione fissi o orientabili e gestire aria di intercapedine che può avere esclusivamente una direzione di ventilazione esterna oppure che può provenire da vani interni all'edificio.

Nella configurazione generale della famiglia opaco su opaco, alla pelle interna sono affidate le prestazioni generali di chiusura. La pelle esterna, insieme all'intercapedine consente, invece, l'insorgere di fenomeni fisici specifici che premettono all'involucro di ottenere prestazioni dinamiche.

La pelle interna può essere realizzata, come già anticipato, da chiusure di tipo pesante o di tipo leggero.

Nel primo caso si tratta, per la gran parte, di soluzioni multistrato in cui oltre all'isolamento termico, necessario per le aree geografiche continentali, si aggiungono ulteriori strati atti a svolgere le comuni prestazioni di chiusura; soluzioni in cui la pelle interna è costituita da un singolo strato pesante possono essere adottate esclusivamente in aree geografiche caratterizzate da un clima caldo.

Nel secondo caso si tratta di soluzioni con struttura in legno o acciaio e strati isolanti di tamponamento. Tali sistemi costruttivi risultano in questo caso particolarmente interessanti se valutati nella composizione di un involucro opaco su opaco. Le prestazioni generali di chiusura, particolarmente rivolte al controllo dell'isolamento termico, si completano, in una visione dinamica delle prestazioni

richieste ad un involucro adottato in un clima continentale (estati calde ed inverni freddi), attraverso l'adozione di un sistema di facciata ventilata.

La pelle esterna, per questi involucri, ha la funzione di intercettare le radiazioni solari dirette. La natura dei materiali adottati influisce sulla quantità di energia trasmessa o riflessa; materiali maggiormente riflettenti (di colore chiaro, ad esempio) consentono di accumulare meno calore. Il calore accumulato viene poi trasmesso all'intercapedine che attiva l'effetto camino. Maggiore è il calore trasmesso e maggiore è la ventilazione dell'intercapedine con un conseguente superiore raffrescamento della pelle interna.

Caratteristiche della superficie esterna dell'intercapedine, dimensioni dell'intercapedine stessa, intensità di ventilazione e caratteristiche fisiche della pelle interna sono quindi i parametri attraverso i quali agire al fine di ottenere l'involucro che meglio si adatta alle condizioni di temperatura e irraggiamento del contesto di applicazione del progetto.

L'opportunità di inserire dispositivi di ventilazione a configurazione variabile e aria di intercapedine a temperatura controllata (fresca per l'estate e calda per l'inverno) definiscono ulteriori attributi positivi che possono essere facilmente adottati per incrementare le prestazioni complessive dell'involucro. Nelle condizioni invernali, la presenza di aria calda in una intercapedine chiusa induce, infatti, alla formazione di un effetto tampone che permette l'applicazione di una pelle interna avente uno standard di isolamento termico decisamente inferiore a quello da prevedere per soluzioni con un involucro avente una costante direzione di ventilazione esterna. Inoltre, in caso di impiego di pelle interna pesante è possibile accumulare il calore introdotto nell'intercapedine sfruttando la massa che la caratterizza.

Le soluzioni opaco su opaco possono essere adottate per tutte le tipologie edilizie e le destinazioni d'uso. La peculiarità di questa famiglia risiede nell'inserimento, in qualsiasi posizione nell'involucro, di aperture dirette per la ventilazione naturale dei vani; tale proprietà li rende adeguati alle abitazioni residenziali che possono usufruire di questa tecnologia per qualsiasi categoria di vano (zone giorno, zone notte, servizi). Le aperture sono da considerare come tradizionali finestre dove oscuramento e livelli di illuminazione interni vengono valutati secondo i tradizionali standard normativi.

L'assenza di trasparenza consente, inoltre, di rispondere facilmente anche a requisiti legati alla modifica, nel tempo, dei vani interni; setti e partizioni interne possono essere addossati a qualsiasi punto dell'involucro senza vincolare le dimensioni ai rigidi moduli che scandiscono l'organizzazione della pelle esterna.

OPACO SU OPACO

TIPOLOGIA EDILIZIA

ORIENTAMENTO	PELLE INTERNA	TIPOLOGIA EDILIZIA												SOLUZIONE CONFORME		
		EDIFICIO ISOLATO				EDIFICIO A SCHIERA		EDIFICIO IN LINEA				EDIFICIO A TORRE				
		TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	
EST	PESANTE	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	3-a
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
		canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
		singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
	LEGGERA	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	3-b
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
		canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
		singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
OVEST	PESANTE	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	3-a
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
		canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
		singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
	LEGGERA	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	tutta superficie	esterna	3-b
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
		canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	canali	esterna	
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	
		singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	singoli elementi	esterna	
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	

OPACO SU OPACO

ORIENTAMENTO	PELLE INTERNA	TIPOLOGIA EDILIZIA															
		EDIFICIO ISOLATO				EDIFICIO A SCHIERA		EDIFICIO IN LINEA				EDIFICIO A TORRE					
		TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE	TIPOLOGIA DI FACCIATA	DIREZIONE DI VENTILAZIONE		
SUD	PESANTE	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna		
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna		
		canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna		
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna		
	LEGGERA	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna		
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna		
NORD	PESANTE	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna		
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna		
		canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna	canali	interna		
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna		
	LEGGERA	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna	tutta superiore	esterna		
		residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna	residenziale	interna		
SOLUZIONE CONFORME																	
3-a																	
3-b																	
3-b																	

7.2.4 Traslucido su trasparente

L'involucro è composto da una pelle esterna traslucida ed una pelle interna trasparente.

La pelle interna trasparente può essere realizzata impiegando facciate continue tradizionali, facciate continue strutturali, facciate a fissaggio puntiforme o semplici infissi (fissati all'intradosso e all'estradosso di ogni solaio). Il tamponamento, in vetro o polycarbonato, può essere di tipo completamente trasparente oppure di tipo traslucido (lastre acidate, sabbiato, ecc.), con prestazioni diverse legate alla visibilità e alla minore o maggiore capacità di controllo di determinate lunghezze d'onda delle radiazioni solari

La pelle interna trasparente (senza intercapedine aggiuntiva volta al contenimento di una veneziana) svolge principalmente la funzioni di chiusura, oltre alle comuni prestazioni riferibili alle chiusure degli edifici (protezione dagli agenti atmosferici, eventuale ventilazione dei vani interni, protezione dal rumore, ecc.), per le caratteristiche fisiche che contraddistinguono questi sistemi costruttivi, le pelli trasparenti sono in grado di offrire prestazioni principalmente legate all'isolamento termico e al recupero di calore da irraggiamento.

Il livello del controllo delle dispersioni termiche (estive ma, soprattutto, invernali) è funzionale alle caratteristiche fisiche della struttura di supporto e fissaggio delle lastre e alle caratteristiche e alle proprietà termiche del tamponamento trasparente. La presenza di materiali poco conduttivi o, come nel caso di sistemi in alluminio, l'impiego di sistemi a taglio termico per la struttura portante della facciata sono garanzia di un'efficace interruzione del passaggio di calore dall'edificio verso l'esterno e, per le condizioni estive, dall'esterno verso i vani interni.

L'isolamento termico del tamponamento è assicurato dalla presenza del vetro - camera, eventualmente provvisto di intercapedine dotata di gas a bassa conduttività; in aggiunta, l'impiego di lastre elaborate con depositi selettivi offre la possibilità di evitare il trasferimento verso l'esterno del calore da irraggiamento. Il recupero di calore prodotto dalla radiazione solare, se nelle condizioni invernali induce effetti fisici positivi di guadagno termico, nelle condizioni estive può essere limitato dall'adozione di vetri magnetronici a controllo solare (riduzione dell'effetto serra all'interno dei vani). In ogni caso, anche con l'impiego di sistemi altamente performanti, le facciate trasparenti possono essere considerate soluzioni idonee ad offrire prestazioni riferibili principalmente all'isolamento termico.

L'applicazione di una pelle esterna traslucida permette di innescare aggiuntivi fenomeni, capaci di agire esclusivamente nelle condizioni in cui è necessario intervenire sul controllo dell'irraggiamento e del flusso luminoso entrante nei vani.

La pelle esterna traslucida è costituita da sistemi frangisole, da reti, pannelli o da tessuti metallici, fissati direttamente alla pelle interna attraverso opportune connessioni (a volte già predisposte dai produttori delle facciate retrostanti) oppure fissati ad un telaio portante aggiuntivo (appoggiato a terra o sospeso dalla copertura e opportunamente controventato).

Per gli elementi frangisole, la direzione di applicazione (orizzontale o verticale), la dimensione, il materiale adottato per le lamelle, la possibilità di orientare le lamelle stesse e la distanza dalla pelle interna (profondità di intercapedine) costituiscono le variabili progettuali che definiscono in termini quantitativi le prestazioni offerte.

I frangisole orizzontali, nelle condizioni estive, svolgono la funzione di intercettare le radiazioni solari che colpiscono i prospetti esposti prevalentemente a sud - sud/ovest, evitando la formazione dell'effetto serra all'interno dei vani (tamponati con superfici trasparenti). Nelle condizioni invernali, il limitato angolo di azimut del sole garantisce l'ingresso delle radiazioni attraverso la superficie trasparente, contribuendo al miglioramento del microclima e dell'illuminazione interni. La possibilità di agire, inoltre, sull'orientamento delle lamelle (frangisole mobili), consente di raggiungere le migliori prestazioni possibili, grazie alla possibilità di ottenere la massima riflessione (condizione estiva) o la massima permeabilità (condizione invernale) alle radiazioni al variare dell'altezza del sole sull'orizzonte.

I frangisole verticali sono predisposti, invece, per il controllo delle radiazioni che colpiscono prevalentemente i prospetti esposti a est e a sud-est; con questa configurazione, date le caratteristiche di azimut e altezza solare, la modulazione del controllo solare risulta meno efficace al variare delle condizioni estiva ed invernale. La possibilità di inserire elementi orientabili, permette, comunque, una maggiore efficacia in termini di modulazione della percentuale di energia riflessa o trasmessa alla pelle interna trasparente.

I materiali impiegabili sono diversi: alluminio, acciaio, laterizio, legno, pietra e vetro; la natura del materiale utilizzato influisce sulle proprietà fisiche di riflessione e assorbimento della radiazione luminosa. La pietra può essere impiegata in lastre estremamente sottili, favorendo la diffusione della luce all'interno dei vani e garantendo un efficace controllo dell'ingresso della radiazione solare diretta. Il vetro può essere impiegato sia in lastre, trasparenti o traslucide (vetro serigrafato, satinato o acidaro), sia in profili stampati (vetri prismatici). I frangisole orizzontali si prestano, inoltre, all'applicazione, sulla superficie esposta verso l'esterno, di moduli fotovoltaici.

Le reti metalliche svolgono la medesima funzione dei frangisole con, però, maggiori difficoltà nella modulazione dell'effetto ombreggiante al variare delle condizioni di

irraggiamento (estate/inverno - ore della giornata). Le dimensioni della trama metallica (percentuale di foratura) definiscono in termini quantitativi la porzione di radiazione luminosa che raggiunge la superficie vetrata. Le condizioni estive definiscono la configurazione ottimale della pelle traslucida. E' possibile controllare con migliore precisione il flusso luminoso invernale, consentendo un accumulo di calore all'interno dei vani attraverso la superficie trasparente della pelle interna, con la predisposizione di un sistema costruttivo composto da pannelli modulari orientabili o scorrevoli.

I sistemi che adottano i tessuti possono essere considerati analoghi a quelli che prevedono l'impiego di reti; le principali differenze sono date dalla trama, ovvero dalle caratteristiche di trasparenza dello strato e dalla capacità di definire superfici con caratteristiche geometriche complesse (superfici sferiche, curvilinee, ecc.).

I sistemi che adottano i tessuti, come i sistemi che impiegano le reti, intercettano i raggi solari prima che possano raggiungere la superficie trasparente della pelle interna. Inoltre, è possibile controllare al meglio le condizioni invernali utilizzando, come nel caso delle reti, sistemi apribili o orientabili.








L'applicazione di reti e tessuti metallici su prospetti esposti alle radiazioni solari può essere anche limitata a porzioni di involucro (ad esempio in corrispondenza del settore superiore del tamponamento trasparente di ogni interpiano); tale configurazione permette di ottenere prestazioni variabili grazie al semplice movimento del sole rispetto all'orizzonte.

La superficie esterna di reti e tessuti metallici può essere trattata in modo da veicolare anche messaggi pubblicitari (mediabuilding); essa, infatti, può essere verniciata o serigrafata con loghi, testi o immagini simbolo della azienda che ha sede nell'edificio che impiega chiusure di tipo traslucido su trasparente.

Questa famiglia di involucri, in relazione ai fattori interni di tipo fisso, è utilizzabile principalmente per le destinazioni d'uso terziarie; è possibile l'applicazione anche negli edifici residenziali nelle porzioni di involucro su cui affacciano le zone giorno o gli spazi di circolazione e collegamento. Pertanto, tutte le tipologie edilizie si prestano alla applicazione di questi involucri. L'unica limitazione è riferibile alle reti e ai tessuti che non possono essere utilizzati negli edifici a torre per le problematiche indotte dalla presenza di forte vento.

Gli involucri della famiglia traslucido su trasparente consentono una ventilazione naturale dei vani interni attraverso la predisposizione di aperture dirette posizionate sulla pelle interna. Questa caratteristica rende tali chiusure adatte all'applicazione in ogni destinazione d'uso.

In caso di ristrutturazione di edifici già tamponati in vetro è possibile trasformare la facciata in un involucro a comportamento dinamico attraverso l'aggiunta di un nuovo telaio, fisicamente indipendente dall'edificio e distaccato dalla pelle interna attraverso lo spazio di intercapedine; al nuovo telaio di supporto possono essere fissati frangisole o reti e tessuti metallici, incrementando le prestazioni energetiche estive della vecchia chiusura.

TRASLUCIDO SU TRASPARENTE									
ORIENTAMENTO	TIPOLOGIA EDILIZIA								SOLUZIONE CONFORME
	EDIFICIO ISOLATO 		EDIFICIO A SCHIERA	EDIFICIO IN LINEA 		EDIFICIO A TORRE 			
	PELLE ESTERNA	PELLE ESTERNA	PELLE ESTERNA	PELLE ESTERNA	PELLE ESTERNA	PELLE ESTERNA	PELLE ESTERNA		
EST 	<div>schermature verticali</div> <div>residenziale</div>	<div>schermature verticali</div> <div>terziario</div>	<div>schermature verticali</div> <div>residenziale</div>	<div>schermature verticali</div> <div>residenziale</div>	<div>schermature verticali</div> <div>terziario</div>	<div>schermature verticali</div> <div>residenziale</div>	<div>schermature verticali</div> <div>terziario</div>	4-a	
	<div>reti / tessuti</div> <div>residenziale</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>terziario</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>residenziale</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>residenziale</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>terziario</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>residenziale</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>terziario</div>	4-b	
	<div>elementi angoli</div> <div>residenziale</div>	<div>elementi angoli</div> <div>terziario</div>	<div>elementi angoli</div> <div>residenziale</div>	<div>elementi angoli</div> <div>residenziale</div>	<div>elementi angoli</div> <div>terziario</div>	<div>elementi angoli</div> <div>residenziale</div>	<div>elementi angoli</div> <div>terziario</div>	4-c	
OVEST 	<div>schermature verticali</div> <div>residenziale</div>	<div>schermature verticali</div> <div>terziario</div>	<div>schermature verticali</div> <div>residenziale</div>	<div>schermature verticali</div> <div>residenziale</div>	<div>schermature verticali</div> <div>terziario</div>	<div>schermature verticali</div> <div>residenziale</div>	<div>schermature verticali</div> <div>terziario</div>	4-a	
	<div>reti / tessuti</div> <div>residenziale</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>terziario</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>residenziale</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>residenziale</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>terziario</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>residenziale</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>terziario</div>	4-b	
	<div>elementi angoli</div> <div>residenziale</div>	<div>elementi angoli</div> <div>terziario</div>	<div>elementi angoli</div> <div>residenziale</div>	<div>elementi angoli</div> <div>residenziale</div>	<div>elementi angoli</div> <div>terziario</div>	<div>elementi angoli</div> <div>residenziale</div>	<div>elementi angoli</div> <div>terziario</div>	4-c	
SUD 	<div>schermature orizzontali</div> <div>residenziale</div>	<div>schermature orizzontali</div> <div>terziario</div>	<div>schermature orizzontali</div> <div>residenziale</div>	<div>schermature orizzontali</div> <div>residenziale</div>	<div>schermature orizzontali</div> <div>terziario</div>	<div>schermature orizzontali</div> <div>residenziale</div>	<div>schermature orizzontali</div> <div>terziario</div>	4-a	
	<div>reti / tessuti</div> <div>residenziale</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>terziario</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>residenziale</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>residenziale</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>terziario</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>residenziale</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>terziario</div>	4-b	
	<div>elementi angoli</div> <div>residenziale</div>	<div>elementi angoli</div> <div>terziario</div>	<div>elementi angoli</div> <div>residenziale</div>	<div>elementi angoli</div> <div>residenziale</div>	<div>elementi angoli</div> <div>terziario</div>	<div>elementi angoli</div> <div>residenziale</div>	<div>elementi angoli</div> <div>terziario</div>	4-c	
NORD 	<div>reti / tessuti</div> <div>residenziale</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>terziario</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>residenziale</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>residenziale</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>terziario</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>residenziale</div>	<div>reti / tessuti</div> <div>terziario</div>	4-b	

7.2.5 Traslucido su opaco

L'involucro è costituito da una pelle esterna traslucida ed una pelle interna opaca.

La pelle interna opaca si compone fondamentalmente di materiali e sistemi costruttivi individuati al capitolo 5.3.3 (piccoli elementi semplici, piccoli elementi per sistemi da realizzare in opera e grandi elementi prefabbricati o preassemblati). Essa svolge la principale funzione di chiusura dell'edificio e non richiede da sola, se utilizzata per un involucro a comportamento dinamico, l'innescò di prestazioni variabili. Come per la famiglia traslucido su trasparente, anche in questa famiglia alla pelle interna sono richieste principalmente prestazioni legate all'isolamento termico. Pertanto, sono impiegabili le soluzioni costruttive composte da sistemi prefabbricati o preassemblati in legno o in acciaio e tamponamento multistrato in pannelli isolanti e le soluzioni che adottano piccoli elementi in laterizio con interposto isolante o le soluzioni a cappotto.

Il controllo delle dispersioni termiche (dall'interno verso l'esterno e viceversa) è predisposto dalla chiusura attraverso l'inserimento di strati isolanti, capaci di limitare il passaggio di calore. Le soluzioni costruttive prevedono, pertanto, l'impiego di pannelli isolanti (di origine naturale, animale, minerale o sintetici), di elementi elaborati per ridurre il coefficiente di trasmissione (K) o, ancora, di finiti sistemi passivi in legno o acciaio (con tamponamento in pannelli multistrato). In generale, i materiali o i componenti isolanti offrono prestazioni adeguate alle condizioni climatiche che presentano condizioni costanti o simili per l'intero anno solare, prevalentemente caratterizzate da basse temperature.

La definizione di una soluzione costruttiva che non prevede l'innescò di prestazioni variabili, anche se composta da più strati, non configura un involucro a comportamento dinamico; il caso delle chiusure in legno, oggi utilizzate anche nei nostri contesti climatici, è esemplificativo dell'applicazione di una soluzione, nata per climi rigidi, che non consente l'innescò di prestazioni capaci di rispondere al clima estivo. Al contrario, per affrontare contestualmente le elevate temperature e l'intenso (e mutevole) irraggiamento solare, questa tipologia costitutiva deve dotarsi anche di strati volti al controllo del calore da irraggiamento.

Quest'ultima prestazione è, infatti, offerta dalla pelle esterna traslucida composta, come per la famiglia traslucido su trasparente, da frangisole, reti o tessuti metallici.

Se la pelle interna coincide con la struttura portante dell'edificio, la pelle esterna traslucida può essere direttamente ancorata alla chiusura opaca; in caso contrario, se la struttura in elevazione verticale è costituita da un sistema intelaiato e la pelle interna definisce un semplice tamponamento, la pelle esterna può essere fissata direttamente ai pilastri e alle travi oppure, in alternativa, ad un telaio aggiuntivo

esterno all'edificio, direttamente appoggiato a terra o appeso a livello di copertura. Quest'ultima soluzione può essere adottata anche per le pelli interne portanti quando le loro caratteristiche meccaniche non garantiscono il sostegno della pelle esterna (es. sistemi di facciata a pannelli portanti costituiti da telai in legno).

Le caratteristiche e i fenomeni innescati dalla pelle traslucida, in relazione alla presenza dei fattori esterni fissi e variabile, sono già stati descritti al paragrafo precedenti.

La sostanziale differenza tra la famiglia traslucido su trasparente e la famiglia traslucido su opaco è data dalla pelle interna. Nel primo caso essa consente un sensibile guadagno termico invernale, ottenuto grazie alle caratteristiche fisiche del vetro (soprattutto nella configurazione che prevede l'impiego di frangisole orientabili); nel secondo, invece, la pelle opaca non consente l'ingresso delle radiazioni solari, se non nei punti in cui essa è interrotta dalla presenza di aperture dirette verso l'esterno.

Nelle condizioni estive, l'assenza di trasparenza, evita la formazione dell'effetto serra; la mancanza di radiazione solare diretta, grazie alla presenza della pelle esterna traslucida, permette di evitare l'impiego di materiali con elevata inerzia termica. Questa condizione garantisce un elevato livello di applicabilità anche per i sistemi costruttivi a secco (legno o acciaio), altrimenti adeguati solo a climi nordici nei quali il limitato irraggiamento solare non pregiudica le prestazioni complessive della chiusura; applicabilità garantita anche per le condizioni invernali, già ampiamente soddisfatte dagli spessi strati isolanti che qualificano positivamente queste chiusure.








Le chiusure composte da piccoli elementi, sia quelle costituite da un singolo strato (purché dotato di un ridotto coefficiente di trasmissione termica) sia quelle applicate in soluzioni multistrato con interposto un isolante termico, possono essere applicate senza il vincolo dell'inerzia termica; ovvero, non è necessaria l'adozione di materiali dotati di elevata massa in quanto il calore da irraggiamento risulta già controllato dalla pelle esterna traslucida. Rimane, eventualmente, coerente l'uso di uno strato dotato di inerzia termica a condizione che sia confinante con i vani climatizzati al fine di mantenere costanti i parametri microclimatici interni.

Questa famiglia di involucri è applicabile in tutte le destinazioni d'uso; data la presenza di una interna pelle opaca, è possibile l'impiego dei sistemi traslucido su opaco nella destinazione d'uso residenziale, comprese le unità ambientali che richiedono prestazioni legate al controllo dall'introspezione e alla oscurabilità dei vani. La combinazione di una pelle interna opaca e di una esterna traslucida consente una notevole flessibilità in caso di trasformazioni nella destinazione e

nella dimensione dei vani (le cui partizioni interne possono addossarsi alla chiusura senza vincoli legati a moduli fissi come nel caso delle facciate trasparenti). La pelle esterna traslucida, inoltre, offre la possibilità di modificare posizione e dimensione delle aperture senza influire sull'aspetto complessivo del prospetto dell'edificio.

Le tipologie edilizie che prevedono l'applicazione di questa famiglia di involucri sono le medesime indicate al paragrafo precedente.

Le casistiche relative alla ristrutturazione che possono prevedere l'uso di frangisole o reti metalliche su involucri opachi esistenti si limitano a quegli edifici realizzati in muratura che non offrono sufficienti garanzie di inerzia termica; eventualmente, quando necessaria, oltre alla pelle esterna traslucida può essere applicata sulla pelle interna opaca una soluzione a cappotto.

ORIENTAMENTO		PELLE INTERNA		TIPOLOGIA EDILIZIA								SOLUZIONE CONFORME	
				EDIFICIO ISOLATO 		EDIFICIO A SCHIERA 		EDIFICIO IN LINEA 		EDIFICIO A TORRE			
				PELLE ESTERNA	PELLE ESTERNA	PELLE ESTERNA	PELLE ESTERNA	PELLE ESTERNA	PELLE ESTERNA	PELLE ESTERNA	PELLE ESTERNA		
EST / OVEST 	LEGGERA 	interni singoli	residenziale	interni singoli	residenziale	interni singoli	residenziale	interni singoli	residenziale	interni singoli	residenziale	5-c	
		schemiature verticali	residenziale	schemiature verticali	residenziale	schemiature verticali	residenziale	schemiature verticali	residenziale	schemiature verticali	residenziale	5-b	
		interni singoli	residenziale	interni singoli	residenziale	interni singoli	residenziale	interni singoli	residenziale	interni singoli	residenziale	5-a	
		schemiature verticali	residenziale	schemiature verticali	residenziale	schemiature verticali	residenziale	schemiature verticali	residenziale	schemiature verticali	residenziale	5-c	
EST / OVEST 	PESANTE 	interni singoli	residenziale	interni singoli	residenziale	interni singoli	residenziale	interni singoli	residenziale	interni singoli	residenziale	5-c	
		schemiature verticali	residenziale	schemiature verticali	residenziale	schemiature verticali	residenziale	schemiature verticali	residenziale	schemiature verticali	residenziale	5-b	
		interni singoli	residenziale	interni singoli	residenziale	interni singoli	residenziale	interni singoli	residenziale	interni singoli	residenziale	5-a	
		schemiature verticali	residenziale	schemiature verticali	residenziale	schemiature verticali	residenziale	schemiature verticali	residenziale	schemiature verticali	residenziale	5-c	

[illegible]

7.3 Definizione di soluzioni conformi

Si propone, di seguito, un abaco di soluzioni conformi suddivise in funzione delle famiglie di involucro e delle tipologie costitutive identificate nei precedenti capitoli. Ogni soluzione conforme è corredata di una serie di informazioni volte a specificarne le condizioni di applicabilità e le possibili criticità che possono insorgere.

Le famiglie di involucro trasparente su trasparente, trasparente su opaco e opaco su opaco, per la complessità costruttiva e funzionale che le contraddistinguono, sono quelle che identificano maggiori componenti di criticità. Esse non sono esclusivamente di origine costruttiva, ovvero legata alla metodologia di fissaggio delle due pelli, ma anche di ordine compositiva; infatti, gli elementi necessari al funzionamento dinamico dell'involucro, non sono quasi mai progettati in maniera integrata ma devono essere composti appositamente per risolvere ogni singola soluzione prevista.

Al fine di rendere dinamiche le prestazioni dell'involucro, è necessario applicare elementi complementari atti a innescare determinati principi fisici. Le principali criticità sono:

- definizione e collocazione dei dispositivi di ventilazione; questi elementi devono essere integrati ai sistemi di facciata e può risultare difficoltosa e complessa la loro applicazione. Si tratta spesso di soluzioni composte da elementi reperibili in altri settori delle costruzioni; è possibile prevedere l'impiego di altri componenti quali griglie o elementi frangisole di ridotte dimensioni, ma con un conseguente limitato funzionamento dinamico;
- definizione e collocazione dei dispositivi di ombreggiamento;
- definizione, applicazione e gestione dei dispositivi di automazione quali motori per l'apertura e la chiusura dei dispositivi di ventilazione, di ombreggiamento, di ventilazione meccanica che devono essere valutati anche in funzione delle esigenze di ordine compositivo legate alla collocazione fisica degli stessi, raramente integrata con i sistemi di facciata.

Le famiglie traslucido su trasparente e traslucido su opaco sono invece composte tramite l'applicazione di elementi schermanti.

La dinamicità delle prestazioni è ottenuta attraverso l'innescare dei fenomeni fisici indotti dai materiali utilizzati per la pelle di chiusura e dalla conformazione geometrica, fisica e funzionale dei sistemi schermanti adottati per comporre la pelle schermante. Quest'ultima aggiunge nuove prestazioni, attinenti prevalentemente al modificarsi dei fattori esterni che agiscono sull'involucro. Il comportamento

dinamico si concretizza, infatti, nell'innescare di prestazioni, variabili in funzione della mutevolezza delle condizioni di irraggiamento esterno; al modificarsi delle condizioni estive ed invernali, la conformazione geometrica dell'involucro risulta tale da esporre o schermare la pelle interna alle radiazioni solari.

7.3.1 Trasparente su trasparente

Nella definizione degli involucri trasparente su trasparente le criticità principali non sono di ordine materico in quanto entrambe le pelli hanno le medesime caratteristiche fisiche e meccaniche.

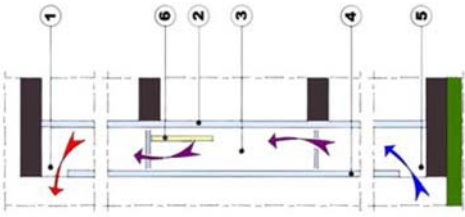
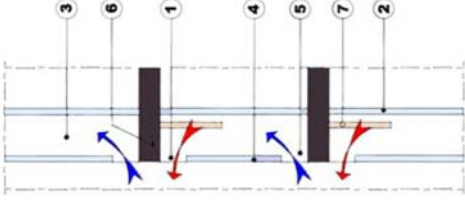
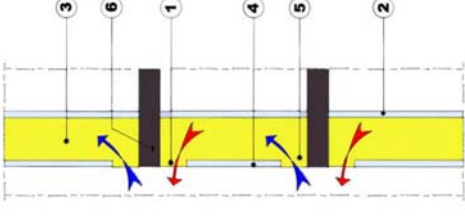
In generale, alla pelle esterna dell'involucro non sono richiesti requisiti di chiusura; la principale criticità di tipo costruttivo è data dalla mancanza di soluzioni semplici, adeguate a rispondere a requisiti di tenuta all'acqua, all'aria e di isolamento in generale rispetto a quelli normalmente richiesti.

Si identificano, di seguito, le criticità riscontrate in funzione della tipologia di facciata:

- nella tipologia a *tutta superficie* le criticità di ordine costruttivo sono riferibili al sistema di supporto della pelle esterna che, per le caratteristiche dimensionali dell'intercapedine, deve risultare adeguatamente distanziata da quella interna. Pertanto, è spesso indispensabile la creazione di un telaio aggiuntivo che però mantenga il più libera possibile l'intercapedine, in ragione delle caratteristiche costitutive di base dei sistemi a tutta superficie. In alternativa è possibile fissare la pelle esterna alla struttura portante dell'edificio (telaio, se in presenza di struttura intelaiata) attraverso la predisposizione di opportuni elementi metallici di supporto da progettare e realizzare in funzione delle caratteristiche di ogni singolo intervento edilizio. Inoltre vi è la necessità di definire elementi di collegamento per la manutenzione dello spazio contenuto tra le due pelli, da realizzare con griglie metalliche sostenute dalla struttura portante dell'edificio o dal telaio esterno di supporto della seconda pelle;
- nella tipologia a *canali* le criticità di ordine costruttivo sono riferibili al sistema di supporto della pelle esterna; anche se in misura ridotta rispetto alla tipologia precedente, la tipologia a canali necessita della predisposizione di una pelle interna adeguatamente distanziata da quella esterna. E' possibile risolvere tale criticità fissando direttamente la pelle esterna al telaio portante dell'edificio (generalmente ai solai di interpiano per i canali verticali oppure ai montanti del telaio per i canali orizzontali); in

alternativa, è necessario predisporre dei profili di supporto (da realizzare ad hoc per ogni intervento) tramite i quali è possibile creare un sistema integrato per entrambe le pelli e definire lo spazio di intercapedine;

- la tipologia *a singoli elementi* è quella che presenta ridotte criticità in quanto è possibile realizzare un semplice profilo di supporto che fissa entrambe le pelli o collegare semplici infissi ai solai di ogni piano. È possibile infatti reperire sistemi già integrati per comporre involucri evoluti a comportamento dinamico.

TRASPARENTE SU TRASPARENTE			
1-a TUTTA SUPERFICIE	1-b CANALI	1-c SINGOLI ELEMENTI	
<p>Legenda materiali:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Griglia di ventilazione superiore2. Facciate o semplici infissi con tamponamento traslucido o trasparente3. Spazio di intercapedine sviluppato su tutto il prospetto dell'involucro4. Facciate con tamponamento traslucido o trasparente5. Griglia di ventilazione inferiore6. Dispositivo di oscuramento 	<p>Legenda materiali:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Griglia di ventilazione superiore2. Facciate o semplici infissi con tamponamento traslucido o trasparente3. Spazio di intercapedine4. Facciate con tamponamento traslucido o trasparente5. Griglia di ventilazione inferiore6. Dispositivo di compartimentazione7. Dispositivo di oscuramento 	<p>Legenda materiali:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Griglia di ventilazione superiore2. Facciate o semplici infissi con tamponamento traslucido o trasparente3. Spazio di intercapedine compartimentato verticalmente4. Facciate con tamponamento traslucido o trasparente5. Griglia di ventilazione inferiore6. Dispositivo di compartimentazione orizzontale – solaio o elementi supporto pelle interna 	<p>Tipologia edilizia: Edificio isolato, a schiera, linea, torre Orientamento: Sud, Est, Ovest Criticità: Le principali criticità sono rilevabili nei sistemi di supporto della pelle esterna che presenta prestazioni di chiusura non necessariamente richieste; è spesso da definire, quindi, quando possibile la tecnologia di supporto e quella di fissaggio delle lastre della pelle esterna. Il rischio è quello di comporre involucri con pelli che svolgono entrambe le stesse funzioni doppiando così prestazioni non richieste. Inoltre l'applicazione dei dispositivi complementari quali griglie di ventilazione, sistemi di oscuramento, ventilatori meccanici, dispositivi per l'automazione, deve essere progettata di volta in volta, in quanto non sono presenti sistemi integrati. La struttura di supporto della pelle esterna deve essere configurata attraverso l'applicazione di un aggiuntivo telaio di sostegno esterno all'edificio o di staffe fissate alla struttura portante del fabbricato.</p>
<p>Tipologia edilizia: Edificio isolato, a schiera, linea, torre Orientamento: Sud, Est, Ovest Criticità: Le principali criticità sono relative a prestazioni di chiusura non richieste, ridondanti rispetto all'insieme dell'involucro. È necessario inoltre definire, sin dalle prime fasi progettuali, soluzioni semplificate per i dispositivi complementari, come quelli di compartimentazione, sostituendoli attraverso lo sfruttamento di solai interpiano.</p>	<p>Tipologia edilizia: Edificio isolato, a schiera, linea, torre Orientamento: Sud, Est, Ovest, Nord (se con aria proveniente da ambienti a temperatura controllata e non dall'esterno) Criticità: Le principali criticità sono relative a prestazioni di chiusura non richieste, ridondanti rispetto all'insieme dell'involucro. È necessario inoltre definire, sin dalle prime fasi progettuali, soluzioni semplificate per i dispositivi complementari, come quelli di compartimentazione, sostituendoli attraverso lo sfruttamento di solai interpiano.</p>	<p>Tipologia edilizia: Edificio isolato, a schiera, linea, torre Orientamento: Sud, Est, Ovest Criticità: Questa tipologia non presenta particolari criticità. È forse però consigliabile una certa attenzione per la progettazione dei componenti che delimitano i singoli elementi per evitare sovraccarichi sulla struttura portante dell'edificio.</p>	

7.3.2 Trasparente su opaco

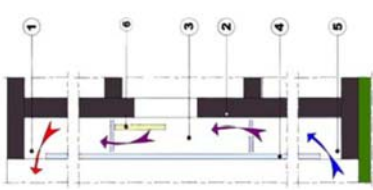
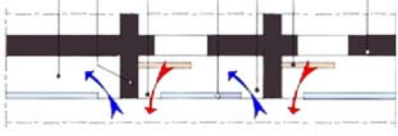
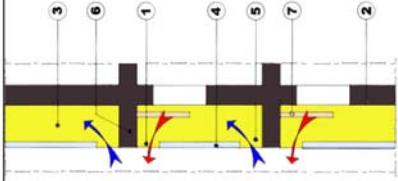
Per la tipologia trasparente su opaco, le principali criticità sono riferibili alla connessione tra la pelle interna opaca e quella esterna trasparente.


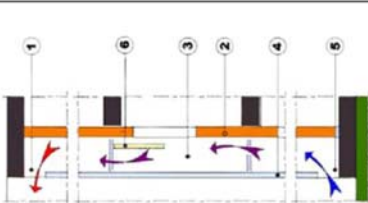
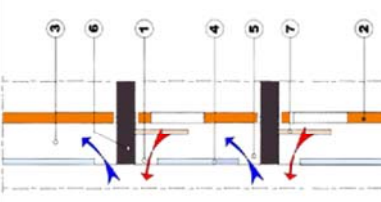
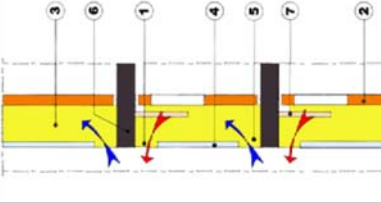
La pelle esterna trasparente, come per la famiglia trasparente su opaco, dovrebbe limitare le proprie funzioni alla realizzazione di un diaframma esterno, senza aggiungere ulteriori prestazioni di chiusura.

Le principali criticità di questa famiglia, in funzione della tipologia di facciata, sono:

- nella tipologia *a tutta superficie* il sistema di supporto della pelle esterna, per le caratteristiche dimensionali dell'intercapedine, deve risultare adeguatamente distanziata da quella interna. Pertanto, è spesso indispensabile la creazione di un telaio aggiuntivo; in alternativa, per le soluzioni che adottano pelli interne leggere (pannelli di tamponamento con telaio in legno o acciaio e isolanti termici) è possibile fissare la pelle esterna alla struttura portante dell'edificio (telaio) attraverso la predisposizione di opportuni elementi metallici di supporto da progettare e realizzare in funzione delle caratteristiche di ogni singolo intervento edilizio. Per le soluzioni che adottano pelli interne pesanti, invece, è possibile fissare anche la pelle esterna a quella interna, previa verifica strutturale della chiusura opaca; inoltre è possibile riscontrare criticità nella progettazione e applicazione di dispositivi complementari quali griglie di ventilazione o collegamenti per la manutenzione delle pelli pur mantenendo continuo il passaggio di aria all'interno dell'intercapedine;
- nella tipologia *a canali* le criticità di ordine costruttivo sono riferibili al sistema di supporto della pelle esterna; anche se in misura ridotta rispetto alla tipologia precedente, la tipologia a canali necessita della predisposizione di una pelle interna adeguatamente distanziata da quella esterna. E' possibile risolvere tale criticità fissando direttamente la pelle esterna al telaio portante dell'edificio (generalmente ai solai di interpiano o alla muratura interna pesante). Rispetto alla tipologia precedente, alle criticità elencate si aggiunge la difficoltà di inserire sistemi di oscuramento per le porzioni trasparenti (finestre) della pelle interna opaca. La distribuzione e collocazione degli elementi tecnici risulta infatti piuttosto difficoltosa, per il numero di dispositivi da inserire nell'intercapedine;
- nella tipologia *a singoli elementi* l'applicazione di una pelle esterna modularmente scomposta in singole e ridotte unità di ventilazione implica criticità di ordine costruttivo che si manifestano principalmente nel fissaggio della facciata esterna alla pelle opaca. Le migliori opportunità di

composizione si ottengono quando i singoli moduli coincidono con la scansione del telaio portante dell'edificio. L'applicazione di un telaio aggiuntivo non è praticabile con questa tipologia di facciata.

TRASPARENTE SU OPACO				
2-a TUTTA SUPERFICIE		2-b CANALI	2-c SINGOLI ELEMENTI	
<p>Legenda materiali:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Griglia di ventilazione superiore 2. Pelle interna esistente in muratura (ristrutturazione) oppure di nuova costruzione 3. Spazio di intercapedine sviluppato su tutto il prospetto dell'involucro 4. Facciate o semplici infissi con tamponamento traslucido o trasparente 5. Griglia di ventilazione inferiore 6. Dispositivo di oscuramento 		<p>Legenda materiali:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Griglia di ventilazione superiore 2. Pelle interna esistente in muratura (ristrutturazione) oppure di nuova costruzione 3. Spazio di intercapedine 4. Facciate o semplici infissi con tamponamento traslucido o trasparente 5. Griglia di ventilazione inferiore 6. Dispositivo di oscuramento 7. Dispositivo di oscuramento 	<p>Legenda materiali:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Griglia di ventilazione superiore 2. Pelle interna esistente in muratura (ristrutturazione) oppure di nuova costruzione 3. Spazio di intercapedine 4. Facciate o semplici infissi con tamponamento traslucido o trasparente 5. Griglia di ventilazione inferiore 6. Dispositivo di oscuramento 7. Dispositivo di oscuramento 	<p>Tipologia edilizia: Edificio isolato, a schiera, linea, torre</p> <p>Orientamento: Sud, Est, Ovest</p> <p>Criticità: Le principali criticità sono rilevabili nella pelle esterna che presenta prestazioni di chiusura non richieste. I problemi relativi ai sistemi di supporto sono risolvibili attraverso la struttura portante della pelle interna, anche se si rischierebbe di creare ponti termici nelle stesse pelle interna.</p>
<p>Tipologia edilizia: Edificio isolato, a schiera, linea, torre</p> <p>Orientamento: Sud, Est, Ovest</p> <p>Criticità: Le principali criticità sono riferibili al sistema di supporto della pelle esterna; anche se in misura ridotta rispetto alla tipologia precedente, la tipologia a canali necessita della predisposizione di una pelle interna adeguatamente distanziata da quella esterna. E' possibile risolvere tale criticità fissando direttamente la pelle esterna al telaio portante dell'edificio (generalmente ai solai di interpiano o alla muratura interna pesante). Rispetto alla tipologia precedente, alle criticità elencate si aggiunge la difficoltà di inserire sistemi di oscuramento per le porzioni trasparenti (finestre) della pelle interna opaca. La distribuzione e collocazione degli elementi tecnici risulta infatti piuttosto difficoltosa, per il numero di dispositivi da inserire nell'intercapedine.</p>		<p>Tipologia edilizia: Edificio isolato, a schiera, linea, torre</p> <p>Orientamento: Sud, Est, Ovest</p> <p>Criticità: la tipologia a singoli elementi con pelle interna pesante non presenta vantaggi considerevoli, risultando perciò non applicabile in nessun caso.</p>		

TRASPARENTE SU OPACO			
2-d TUTTA SUPERFICIE	2-e CANALI	2-f SINGOLI ELEMENTI	
<p>Legenda materiali:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Griglia di ventilazione superiore2. Pelle interna esistente in muratura (ristrutturazione) oppure di nuova costruzione3. Spazio di intercapedine sviluppato su tutto il prospetto dell'involucro4. Facciate o semplici infissi con tamponamento traslucido o trasparente5. Griglia di ventilazione inferiore6. Dispositivo di oscuramento 	<p>Legenda materiali:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Griglia di ventilazione superiore2. Pelle interna leggera opaca3. Spazio di intercapedine4. Facciate o semplici infissi con tamponamento traslucido o trasparente5. Griglia di ventilazione inferiore6. Dispositivo di compartimentazione da realizzare con profili metallici o tramite aggetto di solai7. Dispositivo di oscuramento 	<p>Legenda materiali:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Griglia di ventilazione superiore2. Pelle interna leggera opaca3. Spazio di intercapedine4. Facciate o semplici infissi con tamponamento traslucido o trasparente5. Griglia di ventilazione inferiore6. Dispositivo di compartimentazione da realizzare con profili metallici o tramite aggetto di solai7. Dispositivo di oscuramento 	
<p>Tipologia edilizia: Edificio isolato, a schiera, linea, torre (ad esclusione delle soluzioni che utilizzano pannelli portanti per la pelle interna)</p> <p>Orientamento: Sud, Est, Ovest, Nord</p> <p>Criticità: Le principali criticità sono rilevabili nella pelle esterna che presenta sistemi di supporto non integrati con la pelle interna. Nella maggior parte dei casi, infatti si tratta di sistemi costruttivi a secco, la cui struttura portante, integrata nel pacchetto murario, non è in grado di sorreggere altri carichi se non con adeguamenti dimensionali che porterebbero alla composizione di una pelle interna pesante.</p>	<p>Tipologia edilizia: Edificio isolato, a schiera, linea, torre (ad esclusione delle soluzioni che utilizzano pannelli portanti per la pelle interna)</p> <p>Orientamento: Sud, Est, Ovest, Nord</p> <p>Criticità: Le principali criticità sono rilevabili nell'applicazione dei dispositivi complementari quali griglie di ventilazione, sistemi di oscuramento, ventilatori meccanici, dispositivi per l'automazione, che dovrebbero essere direttamente progettati come sistemi di facciata integrati. Inoltre i sistemi costruttivi a secco, che compongono la pelle interna, generalmente prevedono soluzioni strutturali complesse, integrando frontiere verticali ed orizzontali. Nel modificare la struttura in elevazione orizzontale per poter creare elementi di compartimentazione si potrebbero verificare criticità difficilmente risolvibili.</p>	<p>Tipologia edilizia: Edificio isolato, a schiera, linea, torre (ad esclusione delle soluzioni che utilizzano pannelli portanti per la pelle interna)</p> <p>Orientamento: Sud, Est, Ovest, Nord (se con aria proveniente da ambienti a temperatura controllata e non dall'esterno)</p> <p>Criticità: Alle precedenti criticità si aggiunge, per questa tipologia di involucro, il problema di protezione dell'acqua, dell'aria e dell'eccessivo surriscaldamento dell'intercapedine per i materiali che compongono la pelle interna.</p>	

PELLE INTERNA LEGGERA

PELLE INTERNA LEGGERA

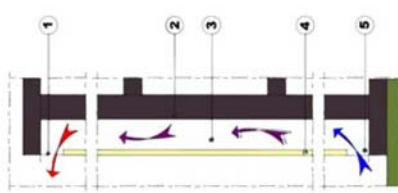
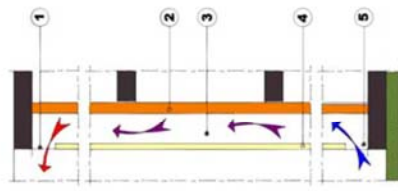
7.3.3 Opaco su opaco

Questa famiglia di involucri è presente nel mondo delle costruzioni da diversi anni e, pertanto, è quella che, sotto il profilo costruttivo, presenta minori criticità. Molte sono, infatti, le soluzioni possibili presenti, come ormai sono diffusi anche i soli elementi complementari (supporto e aggancio della pelle esterna rispetto a quella interna) del tamponamento della pelle esterna.

Le criticità da evidenziare possono essere principalmente di ordine materico nel caso in cui si adotti una pelle interna leggera, non compatibile con i sistemi di supporto della pelle esterna; è importante, in questo caso, accertarsi che il sistema di supporto della pelle esterna si possa fissare direttamente al telaio portante dell'edificio o al telaio del tamponamento opaco (purchè strutturalmente compatibile).

Ulteriori criticità compositive insorgono, invece, quando la facciata ventilata adotta un controllo dinamico della ventilazione con dispositivi di ingresso ed uscita; in questo caso è necessario prevedere griglie a configurazione variabile con sistemi di gestione manuali o, preferibilmente, automatici, anche se con costi economici ed energetici superiori.

In caso di ristrutturazione edilizia, la pelle esterna ventilata deve essere opportunamente progettata nei punti in cui vi sono aperture (non modularmente controllate in quanto esistenti) attraverso la predisposizione di pezzi speciali.

OPACO SU OPACO		
3-a	PELLE INTERNA PESANTE	3-b PELLE INTERNA LEGGERA
	<p><i>Legenda materiali:</i></p> <ol style="list-style-type: none">1. Griglia di ventilazione superiore2. Pelle interna esistente in muratura (ristrutturazione) oppure di nuova costruzione3. Spazio di intercapedine sviluppato su tutto il prospetto dell'involucro o con canali verticali metallici di supporto della facciata esterna4. Sistema di facciata ventilata fissata alla pelle interna o al telaio dell'edificio5. Griglia di ventilazione inferiore	
<p><i>Legenda materiali:</i></p> <ol style="list-style-type: none">1. Griglia di ventilazione superiore2. Pelle interna leggera opaca3. Spazio di intercapedine sviluppato su tutto il prospetto dell'involucro o con canali verticali realizzati dai profili di supporto della facciata esterna4. Sistema di facciata ventilata fissata alla pelle interna o al telaio dell'edificio5. Griglia di ventilazione inferiore		
<p><i>Tipologia edilizia:</i> Edificio isolato, a schiera, linea, torre <i>Orientamento:</i> Sud, Est, Ovest, <i>Criticità:</i> Per gli edifici esistenti la principale criticità è definita dalla necessità di coordinare i moduli di facciata con le aperture esistenti, definendo necessariamente dei pezzi speciali.</p>		<p><i>Tipologia edilizia:</i> Edificio isolato, a schiera, linea, torre <i>Orientamento:</i> Sud, Est, Ovest, Nord (se con aria proveniente da ambienti a temperatura controllata e non dall'esterno) <i>Criticità:</i> La principale criticità può essere definita nella verifica della resistenza della pelle interna al peso della pelle esterna; in alternativa è necessario fissare la struttura portante della pelle esterna al telaio portante dell'edificio.</p>

7.3.4 Traslucido su trasparente

Per la famiglia di involucro traslucido su trasparente non si riscontrano particolari criticità in quanto impiegano sistemi per soluzioni più semplici. In particolare, si tratta di sistemi di facciata da combinare con elementi frangisole, dove il supporto della pelle interna trasparente svolge anche la funzione di sorreggere il sistema frangisole. I sistemi di facciata adeguati a completarsi con la pelle in frangisole sono del tipo contino tradizionale.

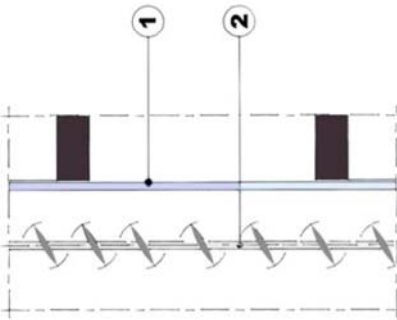
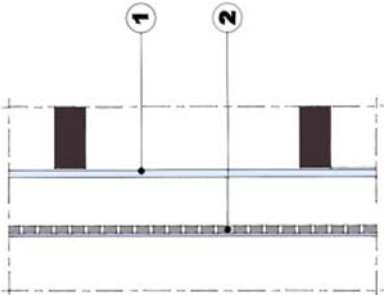
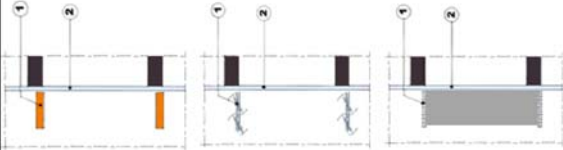
Diverso è il caso dell'adozione di reti metalliche che deve essere valutato considerando la struttura di supporto indipendente, direttamente fissata alla struttura portante dell'edificio; in questo caso, gli elementi di fissaggio della rete metallica si agganciano direttamente al nuovo telaio da realizzare in cemento armato, acciaio o legno. Inoltre, attraverso opportuni elementi di supporto, la rete metallica si applica alla struttura portante dell'edificio. In questo caso, gli elementi di rinvio sono costituiti da profili metallici da realizzare appositamente per ogni intervento edilizio; a questi ultimi si fissano poi i profili di supporto della rete metallica.

Anche nel caso di ristrutturazione edilizia, dove ad una pelle trasparente esistente si applica una pelle esterna traslucida, le soluzioni costruttive prevedono le due ipotesi sopra descritte.

Un caso particolare dell'applicazione di questa famiglia è rappresentato dalla tipologia "a strati perpendicolari" per la quale le criticità risultano estremamente limitate, rispetto a quelle presenti nelle altre tipologie costitutive. Ciò è dovuto principalmente alla collocazione fisica delle due pelli che presentano limitati punti di connessione e non necessitano di elementi di completamento per rendere l'involucro dinamico nel suo complesso.

Nell'ipotesi di aggetto di solai su superfici trasparenti, ad esempio nelle soluzioni in cui la pelle ortogonale alla facciata vetrata non sia costituita dalla struttura portante dell'edificio ma da elementi aggiuntivi, le criticità costruttive possono derivare dall'interruzione della facciata nei punti in cui aggettano gli elementi orizzontali. In quest'ultimo caso, tali aggetti, da realizzare con profili metallici e tamponamenti, devono essere studiati e prodotti su misura, al fine di ottenere un sistema integrato e funzionalmente coerente.

Nella ristrutturazione edilizia, ad una pelle esistente trasparente (facciata continua) non può essere applicato un sistema orizzontale di nuova costruzione a meno della realizzazione di una struttura aggiuntiva, esterna rispetto all'edificio esistente, fisicamente separata dalla facciata esistente.

TRASLUCIDO SU TRASPARENTE			
4-a	SCHERMATURE VERTICALI/ORIZZONTALI	4-b	RETI / TESSUTI
	<p><i>Legenda materiali:</i></p> <ol style="list-style-type: none">1. Facciate con tamponamento traslucido o trasparente2. Elementi frangisole		<p><i>Legenda materiali:</i></p> <ol style="list-style-type: none">1. Facciate con tamponamento traslucido o trasparente2. Reti o tessuti metallici
	<p><i>Legenda materiali:</i></p> <ol style="list-style-type: none">1. Aggetti in metallo o legno, frangisole con montaggio orizzontale o verticale, reti frangisole2. Facciate o semplici infissi con tamponamento traslucido o trasparente		
<p><i>Tipologia edilizia:</i> Edificio isolato, a schiera, linea, torre (verificare la resistenza al vento per edifici di elevata altezza)</p> <p><i>Orientamento:</i> Sud (f. orizzontali), Est e Ovest (f. verticali)</p> <p><i>Criticità:</i> Ad esclusione dei sistemi integrati (dove la pelle esterna si fissa al telaio di facciata della pelle interna), la principale criticità è data dal sistema di supporto della pelle esterna rispetto alla pelle interna. La tecnologia di supporto della pelle esterna è quindi da definire attraverso la predisposizione di opportuni elementi di collegamento meccanico alla struttura portante dell'edificio (non alla pelle interna); in alternativa è possibile utilizzare un aggiuntivo telaio di sostegno esterno rispetto al volume dell'edificio (soluzione percorribile anche negli interventi di ristrutturazione edilizia dove la pelle interna trasparente è esistente).</p>		<p><i>Tipologia edilizia:</i> Edificio isolato, a schiera, linea</p> <p><i>Orientamento:</i> Sud, Est, Ovest, Nord</p> <p><i>Criticità:</i> Per le reti metalliche deve essere valutata la struttura di supporto indipendente, direttamente fissata alla struttura portante dell'edificio; in questo caso, gli elementi di fissaggio della rete metallica si agganciano direttamente al nuovo telaio da realizzare in cemento armato, acciaio o legno. Inoltre, attraverso opportuni elementi di supporto, la rete metallica si applica alla struttura portante dell'edificio. In questo caso, gli elementi di rinvio sono costituiti da profili metallici da realizzare appositamente per ogni intervento edilizio; a questi ultimi si fissano poi i profili di supporto della rete metallica.</p>	
<p><i>Tipologia edilizia:</i> Edificio isolato, a schiera, linea, torre</p> <p><i>Orientamento:</i> Sud, Est, Ovest</p> <p><i>Criticità:</i> In questa tipologia, mantenendo la facciata originaria può essere necessario aggiungere un sistema di supporto indipendente della pelle perpendicolare, se non è possibile prevedere un prolungamento dei solai esterna alla pelle interna.</p>			

7.3.5 Traslucido su opaco

La famiglia traslucido su opaco è fondamentalmente costituita dall'applicazione di frangisole o reti metalliche su pelli in pannelli con telaio in legno o acciaio.

Per le pelli con telaio in legno è necessario identificare i due principali sistemi costruttivi.

Il primo è costituito da pannelli portanti e gli elementi frangisole o le reti devono essere fissati ad un telaio aggiuntivo, posto esternamente rispetto all'edificio.

Il secondo è invece costituito da pannelli di tamponamento; per questo sistema costruttivo è possibile fissare le reti:

alla struttura portante dell'edificio; le criticità sono di ordine costruttivo e si identificano nella necessità di realizzare dei profili che svolgono la funzione di sostenere la pelle traslucida ad una specifica distanza dalla pelle interna opaca;

ad un telaio aggiuntivo; anche per questa ipotesi le criticità sono di ordine costruttivo e si concretizzano nella necessità di realizzare un sistema di supporto per la pelle traslucida.

Le pelli con telaio in acciaio e pannelli isolanti sono esclusivamente realizzate per solo tamponamento; pertanto, le reti o i frangisole devono essere applicati fissandosi, come per i pannelli di tamponamento in legno, alla struttura in elevazione dell'edificio o ad un telaio indipendente.

In caso di ristrutturazione di edifici, i sistemi traslucidi possono essere direttamente fissati alla chiusura esistente, generalmente costituita da muratura (portante o di tamponamento). Alcuni sistemi frangisole prevedono già una struttura di supporto che può essere direttamente agganciata alla pelle interna. Le reti, invece, devono essere opportunamente distanziate e sostenute attraverso la predisposizione di elementi costruttivi da definire di volta in volta.

In ogni caso, per le diverse caratteristiche fisiche dei materiali che compongono le due pelli, possono insorgere criticità legate alle differenti dilatazioni dell'acciaio e del laterizio; criticità che possono essere risolte esclusivamente attraverso un'opportuna definizione delle interfaccia tra i due materiali. Nell'applicazione della pelle esterna deve, inoltre, essere valutata anche la resistenza meccanica del laterizio, che deve risultare adeguata a sostenere il peso degli elementi traslucidi e dei relativi sistemi di supporto.

La tipologia a strati perpendicolari contempla prevalentemente l'applicazione di sistemi costruttivi costituiti da pannelli con telaio in legno o acciaio; queste tecnologie, se progettate opportunamente, possono prevedere l'applicazione di elementi aggettanti orizzontali, costruttivamente integrabili con la pelle interna. In caso di ristrutturazione edilizia, l'aggiunta di una pelle esterna ortogonale alla

chiusura esistente può essere contemplata esclusivamente attraverso l'applicazione di elementi che si reggono fissandosi alla muratura esistente (sistemi leggeri) oppure adottando un aggiuntivo telaio di supporto.

Le criticità di quest'ultima tipologia risultano estremamente limitate, rispetto a quelle presenti nelle altre tipologie costitutive. Ciò è dovuto principalmente alla collocazione fisica delle due pelli con punti di connessione limitati che non necessitano di elementi di completamento per rendere l'involucro dinamico nel suo complesso.

TRASLUCIDO SU OPACO

5-a SCHERMATURE VERTICALI/ORIZZONTALI

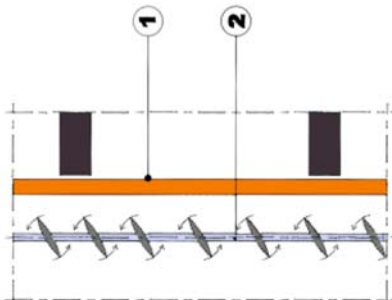
5-a

SCHERMATURE VERTICALI/ORIZZONTALI

Legenda materiali:

1. Elementi in legno portante o pannelli di tamponamento con telaio in legno o in acciaio e isolanti termici

2. Elementi frangisole



5-b RETI / TESSUTI

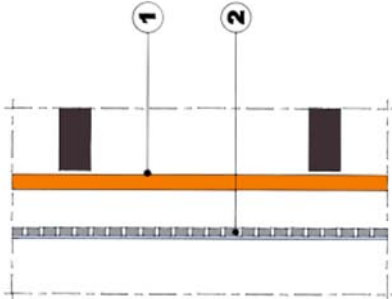
5-b

RETI / TESSUTI

Legenda materiali:

1. Pannelli a secco il legno o di tamponamento o in acciaio e isolanti termici

2. Reti o tessuti metallici



5-c ELEMENTI SINGOLI

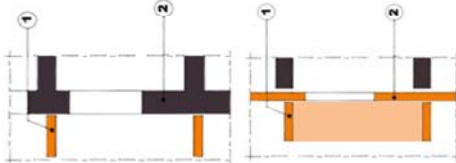
5-c

ELEMENTI SINGOLI

Legenda materiali:

1. Elementi leggeri con telaio in legno o acciaio, aggetti in metallo o legno

2. Pelle interna esistente in muratura (ristrutturazione edilizia) oppure di nuova costruzione, pelle interna leggera a secco



Tipologia edilizia: Edificio isolato, a schiera, linea (con pannelli portanti in pelle interna non oltre tre piani fuori terra), torre

Orientamento: Sud (f. orizzontali), Est e Ovest (f. verticali)

Criticità: Le criticità principali riguardano il sistema di supporto della pelle esterna rispetto alla pelle interna da definire attraverso la predisposizione di opportuni elementi di collegamento meccanico alla struttura portante dell'edificio (non alla pelle interna non sufficientemente resistente - anche se portante) oppure telaio aggiuntivo di sostegno (esterno all'edificio)

Tipologia edilizia: Edificio isolato, a schiera, linea, torre (verificare la resistenza al vento per edifici di elevata altezza)

Orientamento: Sud, Est, Ovest, Nord

Criticità: Le pelli con telaio in acciaio e pannelli isolanti sono esclusivamente realizzate per solo tamponamento; pertanto, le reti o i frangisole devono essere applicati fissandosi, come per i pannelli di tamponamento in legno, alla struttura in elevazione dell'edificio o ad un telaio indipendente.

Tipologia edilizia: Edificio isolato, Linea, Torre

Orientamento: Sud, Est, Ovest,

Criticità: Per questa tipologia non vi sono particolari criticità

7.4 Cenni sull'integrazione impiantistica

A questo punto della trattazione, si intende puntualizzare velocemente quali potrebbero essere i sistemi di supporto impiantistico in grado di risolvere, anche parzialmente, le criticità finora individuate. Per semplicità di trattazione si prevede una suddivisione tra:

- interazione tra involucro ed impianti;
- funzionalizzazione delle superfici

Interazioni tra involucro ed impianti

Soprattutto nell'ambito residenziale, che utilizza sistemi di riscaldamento tradizionali, sempre più spesso a bassa temperatura, le sinergie tra l'involucro e gli impianti capaci di generare efficienza energetica possono essere di tipo passivo od attivo. Tra le prime è possibile citare ad esempio il contributo dell'effetto tampone generato da una tecnologia con intercapedine chiusa esposta a sud in stagione invernale (durante la quale, nelle ore più calde si può ottenere un abbattimento nell'ordine dei 12-15 gradi del delta termico tra interno ed esterno), oppure lo stesso effetto ma di segno inverso quando d'estate si porta aria a 20 gradi proveniente dal solaio a terra in un'intercapedine che altrimenti si troverebbe ad una temperatura compresa tra i 50 ed i 60 gradi. Tra quelle attive si possono elencare l'estrazione dell'aria proveniente dagli ambienti e la sua re immissione negli stessi a temperatura controllata per favorire il ricambio richiesto da alcune normative per il raggiungimento delle classi energetiche più elevate, nonché la trasmissione di dati istantanei relativi alla temperatura dei diversi strati di involucro ed alla tendenza dei medesimi, al fine di ottimizzare la regolazione impiantistica.

Funzionalizzazioni delle superfici

L'efficienza energetica di un sistema edilizio passa principalmente attraverso l'utilizzo di fonti rinnovabili, prima tra tutte quella solare. L'integrazione di moduli solari termici o fotovoltaici nel sistema edilizio presenta tuttavia svariati problemi, primo tra tutti quello relativo al reperimento dello spazio su cui posarli. Le normative vigenti comportano infatti l'utilizzo di sistemi capaci di fornire almeno il 50% dell'energia per il riscaldamento dell'acqua sanitaria ed almeno un Kilowatt per alloggio di energia elettrica. Tali dati comportano l'utilizzo di grandi superfici, che spesso sono assai più consistenti rispetto agli spazi orizzontali disponibili. Ciò rende interessante l'opportunità di adottare superfici funzionalizzate in facciata, sfruttando le porzioni di involucro più soleggiate. In particolare per quanto riguarda l'utilizzo di moduli fotovoltaici, sta prendendo sempre più corpo la possibilità di realizzare facciate ventilate fotovoltaiche, che alla vista possono essere assimilate a materiali di uso comune in edilizia, quali ceramica o vetro. Le tipologie principali

di materiali per facciate fotovoltaiche oggi sono tre: quelle che utilizzano il silicio mono o poli cristallino, di aspetto limitato, costose ma affidabili ed efficienti; quelle che utilizzano il silicio amorfo, che possono divenire anche traslucide o trasparenti; quelle che impiantano nano tecnologie su materiali di collaudato utilizzo (quale ad esempio la ceramica). L'applicabilità di tali sistemi all'edilizia è oggi abbastanza diffusa, in quanto consentono di ottemperare ad un obbligo normativo senza introdurre elementi estranei nel sistema edilizio. In virtù dei vantaggi economici derivanti dai contributi alla produzione di energia ed alla immissione in rete dell'energia prodotta è inoltre possibile affermare che dette tecnologie non costituiscono un significativo incremento dei costi degli interventi.

È però utile ricordare che l'applicazione di prodotti altamente performanti in un involucro evoluto a comportamento dinamico nega i principi generali che accreditano questa tecnologia come un sistema capace di rispondere ai requisiti richiesti esclusivamente grazie alla sua capacità di offrire prestazioni derivanti da un funzionamento bioclimatico e non dall'uso di materiali eccessivamente costosi ed elaborati.

7.5 Predisposizione di un data base consultabile on-line

Negli ultimi mesi di ricerca è stato possibile sviluppare uno strumento, consultabile on-line, in grado di guidare la progettazione degli involucri evoluti a comportamento dinamico. Si tratta di un sistema utile ai progettisti e alle imprese per l'identificazione e l'analisi, all'interno del panorama costruttivo delle chiusure esterne, degli involucri ad alte prestazioni che possono essere definiti come evoluti: lo strumento fornisce informazioni dettagliate e specifiche necessarie a comprendere la struttura fisica e i principi di funzionamento dinamico. Dopo aver specificato le condizioni al contorno, consente l'individuazione dei sistemi costitutivi necessari a comporre un involucro evoluto e a permetterne il funzionamento dinamico. Ciò conduce alla messa a punto e sperimentazione di un sistema di comparazione di soluzioni tecniche di involucro di tipo innovativo in grado di rispondere alle istanze del mercato delle costruzioni nel contesto italiano.

Il prodotto della Guida è una scheda in cui vengono riassunti i parametri inseriti dal progettista messi a sistema con la soluzione progettuale individuata a livello prestazionale, ponendo a confronto gli elementi costitutivi di base, quelli complementari, i fenomeni fisici prodotti, le prestazioni offerte, l'adattabilità a fattori esterni e interni: per ognuno di questi elementi è stato fornito un giudizio relativo al

grado di risposta degli edifici (elevato, sufficiente, non applicabile o non vantaggioso).

L'utente dunque, progettista o impresa, può arrivare a definire la composizione ed il funzionamento di un involucro evoluto effettuando una serie di scelte consecutive e guidate.

L'identificazione del livello di applicabilità prevede la valutazione delle prestazioni offerte dalla tecnologia al variare di:

- *regione climatica*, la classificazione climatica dei comuni italiani è stata introdotta dal D.P.R. n. 412 del 26 agosto 1993, *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della L. 9 gennaio 1991, n. 10*. I comuni italiani sono stati suddivisi in sei zone climatiche e sono stati forniti inoltre, per ciascun comune, le indicazioni sulla somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20°C, e la temperatura media esterna giornaliera; l'unità di misura utilizzata è il grado giorno (GG). Per il momento è stata implementata e completata la parte relativa alla zona E;
- *orientamento*, costituisce un vincolo fondamentale per la verifica dell'applicabilità di un involucro dinamico. Quale soluzione bioclimatica, l'involucro deve le sue prestazioni in condizioni di esercizio al rapporto diretto che unisce le proprietà fisiche dei materiali impiegati ai fattori climatici esterni. Da questi ultimi dipende la possibilità del sistema di offrire prestazioni variabili, ottenute attraverso un funzionamento dinamico. Le condizioni di irraggiamento solare previste sono riferite al clima italiano;
- *destinazione d'uso*, le schede sono organizzate in funzione della destinazione d'uso dell'edificio ad ognuna della quali corrispondono esigenze specifiche inerenti la tipologia delle attività che vengono svolte nei vani che affacciano sull'involucro. Tali esigenze si identificano con il tipo e con l'intensità di ventilazione dei vani attraverso l'involucro, con il livello di illuminazione interno e il controllo dall'introspezione. Si tratta dei requisiti che fanno riferimento agli standard imposti dalle normative nazionali, regionali e locali;
- *tipologia edilizia*, per la medesima destinazione d'uso sono previste schede differenti in funzione della tipologia edilizia dell'edificio. Ogni

tipologia è caratterizzata da tipiche distribuzioni planimetriche e altimetriche, a cui corrisponde una generale suddivisione e organizzazione delle unità immobiliari e dei vani presenti all'interno di ogni fabbricato; ciò comporta l'individuazione di esigenze connesse al funzionamento dell'involucro in relazione all'organizzazione funzionale delle unità immobiliari.

Il livello di applicabilità identifica la rispondenza del sistema costruttivo, in termini di prestazioni, ai requisiti imposti da destinazione d'uso, tipologia edilizia, orientamento dell'involucro e regione climatica. Ogni livello di applicabilità è individuato da un colore, secondo la gerarchia proposta nella scheda.

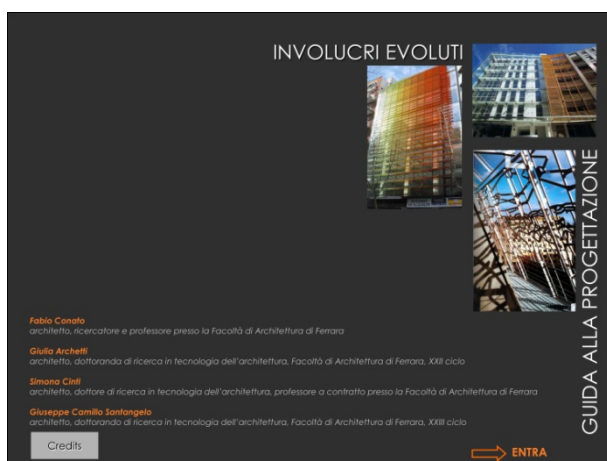
Inoltre, come evidenziato in più punti, i costi di progettazione riguardano una buona fetta del costo complessivo totale; la guida alla progettazione si pone anche come obiettivo quello di ridurre, dove possibile, i costi. L'obiettivo è quello di bypassare tutta quella parte iniziale di valutazione delle possibilità offerte dalle differenti famiglie di involucro, per fornire già via privilegiate di progettazione.

Dal punto di vista informatico, si tratta di un sistema esperto. I Sistemi Esperti, detti anche *Expert Systems* o *Knowledge-Based Systems*, costituiscono una delle aree di maggior sviluppo dell'Intelligenza Artificiale. La loro caratteristica è la capacità di eseguire compiti, di solito eseguiti da una persona esperta, in un dato dominio. In particolare forniscono risposte e consigli in modo simile ad un esperto umano; sono in grado di giustificare le proprie risposte.

L'esperto è una figura che ha una notevole esperienza e conoscenza in un dominio specifico, ed è in grado, in tale dominio, di dare risposte corrette. I Sistemi Esperti vengono usati in svariati campi, quali: diagnostica, progettazione, controllo, pianificazione, istruzione ed altri.

Il sistema adoperato per la creazione della Guida è basato su di una struttura ad albero, contenuta all'interno di un data base e da un'interfaccia grafica user friendly. Per la creazione è stata impiegata una suite di programmi scaricabile gratuitamente dalla rete (Xampp), contenente all'interno diversi prodotti, tra cui quelli appena citati.

L'implementazione di tale strumento è stata possibile grazie alla collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Informatica e dell'Automazione dell'Università degli Studi di Ferrara e, in particolar modo dal professor Fabrizio Riguzzi e dal dott. Alessandro Tinti.



Schermata iniziale del software

Per brevità del presente documento, non si riportano le pagine iniziali dove viene spiegato all'utente il sistema e le modalità di utilizzo dello stesso.



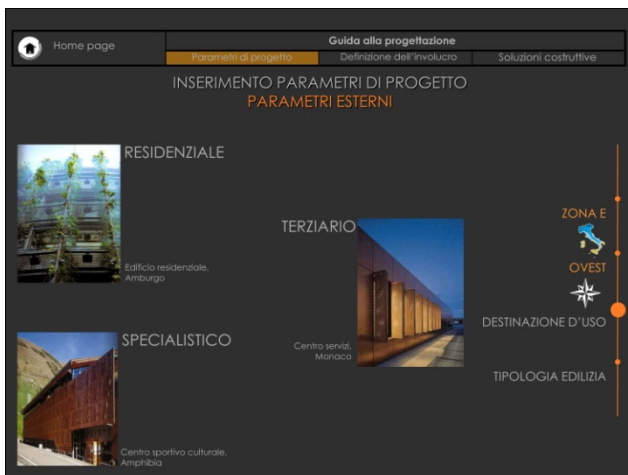
Nelle prime 5 schermate vengono inseriti dal progettista i parametri di progetto esterni relativi a :

- regione climatica;
- orientamento;
- destinazione d'uso;
- tipologia edilizia

REGIONE CLIMATICA



ORIENTAMENTO



DESTINAZIONE D'USO



TIPOLOGIA EDILIZIA



Alla fine di ogni fase vengono riassunte le schermate precedenti, per verificare la correttezza dei dati inseriti.

In ogni punto della guida è però possibile poter tornare alle scelte precedenti per poterle modificare.

A questo punto si passa alla definizione vera e propria dell'involucro, attraverso la scelta di:

- famiglia di involucro;
- tipologia di facciata;
- direzione di ventilazione.

Home page

Guida alla progettazione

Parametri di progetto

Definizione dell'involucro

Soluzioni costruttive

DEFINIZIONE DELLA FAMIGLIA DI INVOLUCRO

In funzione dei parametri di progetto inseriti, è possibile scegliere tipologie di involucro differenti che presentano differenti livelli di applicabilità.

FAMIGLIA DI INVOLUCRO	MATERIALI PELLE INTERNA	MATERIALI PELLE ESTERNA	LIVELLI DI APPLICABILITÀ	CONFERMA
TRASPARENTE SU TRASPARENTE Stati con intercapedine di vetro Stati con intercapedine di vetro	Infissi a facciate continue in vetro	Infissi a facciate continue in vetro		OK
TRASPARENTE SU OPACO Stati con intercapedine di vetro Stati con intercapedine di vetro	Infissi a facciate continue in vetro	Murature		OK
OPACO SU OPACO Stati con intercapedine di vetro Stati con intercapedine di vetro	Infissi a facciate continue in vetro	Murature o pannelli multistrato opachi		OK
TRASLUCIDO SU OPACO Stati con intercapedine di vetro Stati con intercapedine di vetro	Reti metalliche	Murature o pannelli multistrato opachi		OK
TRASLUCIDO SU TRASPARENTE Stati con intercapedine di vetro Stati con intercapedine di vetro	Pannelli frangivento a reti metalliche	Infissi a facciate continue in vetro		OK

■ Elevato ■ Sufficiente ■ Non applicabile o non vantaggioso

FAMIGLIA DI INVOLUCRO

Home page

Guida alla progettazione

Parametri di progetto

Definizione dell'involucro

Soluzioni costruttive

DEFINIZIONE DELLA TIPOLOGIA DI FACCIATA

La tipologia di facciata definisce la relazione tra le due pelli dell'involucro e identifica unità di intercapedine più o meno indipendenti tra loro.

TIPOLOGIA DI FACCIATA	DESCRIZIONE	LIVELLI DI APPLICABILITÀ	CONFERMA
TUTTA SUPERFICIE Stati con intercapedine di vetro Stati con intercapedine di vetro	Nella tipologia a tutta superficie l'intercapedine, prodotta dall'accostamento delle due pelli, ricopre senza soluzione di continuità l'intero prospetto dell'edificio. La facciata esterna è completamente vincolata da quella interna grazie alla formazione di una unica camera d'aria il cui sviluppo corrisponde alla completa superficie dell'involucro.		OK
CANALI Stati con intercapedine di vetro Stati con intercapedine di vetro	La tipologia a canali si organizza attraverso la scomposizione dell'intercapedine in più unità distinte, disposte in modo tale da formare dei canali di ventilazione.		OK
SINGOLI ELEMENTI Stati con intercapedine di vetro Stati con intercapedine di vetro	La tipologia di facciata a singoli elementi è contraddistinta dal raggruppamento sequenziale di piccole unità di ventilazione, definite come: involucro risultante dalla composizione di elementi autonomi, sia facciamente che funzionalmente, costituiti da una facciata esterna, una facciata interna ed una intercapedine.		OK

■ Elevato ■ Sufficiente ■ Non applicabile o non vantaggioso

TIPOLOGIA DI FACCIATA

Home page

Guida alla progettazione

Parametri di progetto

Definizione dell'involucro

Soluzioni costruttive

DEFINIZIONE DELLA DIREZIONE DI VENTILAZIONE

La direzione di ventilazione definisce il percorso seguito dall'aria di intercapedine e identifica il grado di permeabilità esistente tra le due pelli dell'involucro e l'interno e l'esterno dell'edificio.

DIREZIONE DI VENTILAZIONE	DESCRIZIONE	LIVELLI DI APPLICABILITÀ	CONFERMA
DIREZIONE ESTERNA Stati con intercapedine di vetro Stati con intercapedine di vetro	L'aria contenuta nell'intercapedine viene introdotta ed espulsa esclusivamente dall'esterno dell'edificio. La ventilazione dei vani interni dell'edificio è ottenuta attraverso sistemi meccanici o aperture non presenti sull'involucro di progetto.		OK
DIREZIONE INTERNA Stati con intercapedine di vetro Stati con intercapedine di vetro	L'aria contenuta nell'intercapedine viene introdotta ed espulsa esclusivamente dall'interno dell'edificio. Tale aria può essere direttamente gestita da impianti meccanici di espulsione può transitare nei vani che affacciano sull'involucro di progetto. In ogni caso, la ventilazione di questi ultimi è ottenuta attraverso impianti di ventilazione o aperture non presenti sulla chiusura di progetto.		OK
DIREZIONE MISTA Stati con intercapedine di vetro Stati con intercapedine di vetro	L'aria contenuta nell'intercapedine è collegata con l'interno e con l'esterno dell'edificio. Questa soluzione prevede la possibilità di ventilare naturalmente i vani attraverso la gestione delle aperture poste nell'intercapedine (sia sulla pelle interna che sulla esterna).		OK

■ Elevato ■ Sufficiente ■ Non applicabile o non vantaggioso

DIREZIONE DI VENTILAZIONE



Anche a questo punto vengono riassunte le schermate precedenti, per verificare la correttezza dei dati inseriti.

In ogni punto della guida è però possibile poter tornare alle scelte precedenti per poterle modificare.



Infine si passa alla definizione della soluzione costruttiva più dettagliata, entrando nel merito della tecnologia specifica che compone l'involucro.

Ad ogni "Visualizza scheda" corrisponde uno specifico approfondimento che descrive il sistema a cui è associato.





Infine viene presentata una scheda riassuntiva, stampabile, di tutto il percorso svolto con la soluzione costruttiva progettata.

8

Capitolo 8 - Conclusioni

8.1 Verifica tra obiettivi e risultati raggiunti

8.2 Possibili scenari di sviluppo della ricerca

8.1 Verifica tra obiettivi e risultati raggiunti

A termine della ricerca i risultati raggiunti confermano le attese. Ciò che emerge è in sintesi una considerevole validità della tecnologia di involucro evoluto a comportamento dinamico, in quanto sistema che consente di raggiungere prestazioni elevate e variabili all'occorrenza. È d'altra parte emerso come, nel contesto di riferimento, tale tecnologia possa riguardare porzioni circoscritte dell'involucro e che si debba spesso ricorrere a tipologie diverse dello stesso sistema, al fine di ottimizzare le prestazioni. Si ritiene peraltro che l'individuazione di tale casistica sia un risultato altrettanto importante raggiunto dalla ricerca svolta: poter delimitare l'ambito di intervento e applicazione dei sistemi studiati è indice di analisi critica e ragionata delle possibili soluzioni di involucro.

Uno degli obiettivi della tesi è stato quello di analizzare, verificare e riformulare ipotesi fatte precedentemente nell'ambito di una ricerca più vasta relativa agli involucri evoluti a comportamento dinamico, di cui la presente tesi costituisce una parte. I risultati raggiunti rispecchiano e talvolta superano quelli attesi. È stato infatti possibile specificare lo stato dell'arte relativo alla progettazione degli involucri in oggetto e, dove questo era carente, è stato dettagliato con maggiore precisione. Conseguentemente a tale fase è stato possibile definire e descrivere tutte le numerose possibilità di soluzioni di involucro, tutti i fattori interni ed esterni e i fenomeni fisici associati. Sono, inoltre, state fornite indicazioni progettuali, coerenti con la normativa e, dove quest'ultima è risultata carente, sono stati individuati elementi utili per una discussione in merito ad una possibile revisione. Infine è stato possibile ottenere un risultato importante relativo alla comunicazione dei risultati della ricerca: la guida alla progettazioni infatti fornisce un utile strumento di maggiore concretezza e di veloce comprensibilità dei risultati ottenuti; è stato possibile così superare un limite ricorrente nel mondo della ricerca, rappresentato dalla scarsa divulgabilità e sfruttabilità.

8.2 Possibili scenari di sviluppo della ricerca

Al termine della ricerca sono emerse indicazioni importanti su possibili sviluppi di ricerca, indirizzati verso soluzioni di involucro che sfruttano la possibilità di incrementare le prestazioni attualmente offerte dai sistemi evoluti.

In particolare sono stati individuati i seguenti filoni interessanti:

- *materiali*, le ricerche nel campo dei nuovi materiali, i nuovi metodi di produzione e i nuovi componenti per le facciate sono di notevole importanza dato che possono rivoluzionare il rendimento e le caratteristiche dell'involucro. L'informatica ed i nuovi metodi di

sperimentazione aiutano a trovare nuove soluzioni per l'applicazione dei materiali da costruzione. Lo sviluppo e l'ottimizzazione di materiali sintetici è sintomatico dei potenziali cambiamenti cui potrebbero essere sottoposte in futuro le caratteristiche funzionali, strutturali e formali dell'involucro. Come, ad esempio, lo sviluppo di lastre EFTE ha reso possibile la creazione di membrane multistrato ad ampia estensione. Le proprietà termiche di sistemi di membrane sono significativamente migliorate ed è diventato possibile l'impiego anche di tipologie trasparenti estremamente leggere e durevoli anche per pareti;

- *componentistica*, dall'analisi delle soluzioni conformi dei sistemi per involucri evoluti a comportamento dinamico è emerso che una delle principali criticità è relativa all'interfaccia tra le due pelli che costituiscono l'involucro. Un possibile scenario di sviluppo, in parte già iniziato, è relativo alla ricerca di elementi tecnici per l'integrazione di soluzioni di supporto e relazione tra le pelli. L'obiettivo di un simile studio risiede anche nell'ottimizzazione delle prestazioni offerte da soluzioni di involucro evoluto a comportamento dinamico: come si è visto, la mancanza di sistemi integrati produce una duplicazione di prestazioni spesso non richieste;
- *impianti*, la crescente domanda di facciate ad alto rendimento e di sistemi flessibili potrebbe portare alla trasformazione dell'involucro esterno da sistema statico a dinamico integrato con elementi di gestione. Un'ampia gamma di funzioni di controllo possono garantire il comfort termico e visivo come il guadagno e il consumo energetico dell'edificio andando ad integrare la primaria ed originaria funzione protettiva. L'integrazione dell'involucro e della tecnica degli impianti è significativa per la realizzazione di facciate innovative. Da qualche tempo è iniziato un processo in cui gli impianti si sono spostati a livello dell'involucro ed hanno in tal modo ampliato le caratteristiche funzionali e visive dell'edificio: si sta facendo avanti infatti il concetto di involucro polivalente autoregolante, per cui diverse funzioni sono svolte da una struttura esterna complessa multistrato e polifunzionale. In altre parole, la regolabilità e la flessibilità dell'involucro deve risultare dall'intervento di sistemi di controllo di facile utilizzo progettati in modo intelligente. Oltre alle funzioni primarie, la facciata deve svolgere il ruolo sempre crescente di media informativo. Nuovi sviluppi nel settore della tecnologia dei diodi,

ad esempio, l'uso di elementi ottico-olografici e nuovi metodi di trattamento superficiale amplieranno l'interesse per questa funzione;

- *impiego nell'edilizia esistente*, come accennato più volte, la presente ricerca non ha visto una iniziale suddivisione tra interventi sull'esistente o interventi di nuova costruzione. I risultati della ricerca hanno però dimostrato che l'approfondimento di applicazioni in ambito di ristrutturazione e riqualificazione potrebbe fornire interessanti sviluppi;
- *guida alla progettazione*, il software che guida alla progettazione degli involucri evoluti a comportamento dinamico è stato sviluppato per la regione climatica E. Per una più ampia e completa trattazione del tema, sarebbe interessante implementare, con le dovute modifiche, le considerazioni fatte anche per le altre regioni climatiche. Infine risulterebbe di particolare interesse l'indagine più dettagliata delle possibilità offerte dall'edilizia di tipo specialistico.

Per l'evoluzione del concetto di involucro edilizio di un'architettura veramente sostenibile duratura, la progettazione deve dimostrarsi fermamente motivata e responsabile. Un alto grado di abilità tecnica e creativa è essenziale. Per promuovere lo sviluppo di un'architettura orientata verso il futuro, è necessario che l'enorme potenziale dell'involucro costruttivo sia concretizzato partendo da una prospettiva strutturale, funzionale e formale.

Bibliografia

Libri

- AA. VV.,
L'Italia si trasforma - Città fra terra e acqua, BE-MA, Milano, 2007.
- AA. VV.,
L'Italia si trasforma - Città in competizione, BE-MA, Milano, 2006.
- AA. VV.,
Abitare il futuro - Città, quartieri, case, BE-MA, Milano, 2005.
- AA. VV.,
Abitare il futuro - Innovazione e nuove centralità urbane, BE-MA, Milano, 2004.
- AA. VV.,
Abitare il futuro - Innovazione, tecnologia, architettura, BE-MA, Milano, 2003.
- AA. VV.,
Costruire sostenibile: 2000, Bologna Fiere, Alinea, Firenze, 2000.
- AA. VV.,
Costruire sostenibile: il Mediterraneo, Bologna Fiere Alinea, Firenze, 2001.
- AA. VV.,
Costruire sostenibile: l'Europa, Bologna Fiere, Alinea, Firenze, 2002.
- AA. VV.,
Hi-Tech: I dettagli dell'involucro, BE-MA, Milano, 1993.
- AA. VV.,
L'Italia si trasforma + Qualità - Energia, BE-MA, Milano, 2008.
- AA. VV.,
Manuale Pratico di Edilizia Sostenibile trad. it. di Fancesco Faragò, Esselibri – Simone, Napoli, 2008.
- AA. VV.,
Trasformazioni sociali e demografiche e nuove esigenze abitative, IACP Emilia Romagna, Franco Angeli, Milano, 1992.
- AA. VV.,
Una nuova stagione per l'housing, - Low cost, low energy, quality architecture BE-MA, Milano, 2009.
- Acocella, A.,
Architettura italiana contemporanea, Alinea, Firenze, 1984.
- Altomonte, S.,
L'involucro architettonico come interfaccia dinamica - Strumenti criteri per una architettura sostenibile, Alinea, Firenze, 2005.
- Aste, N.,
Il fotovoltaico in architettura, Esselibri Simone, Napoli 2005.
- Baldo, G. L., Marino, M., Rossi, S.,
Analisi del ciclo di vita LCA. Materiali, prodotti, processi, Edizioni Ambiente, Milano, 2005.
- Balzani, M., Tonelli, G., Marzot, N.,
Housing - Case a schiera, Maggioli, Rimini, 2005.
- Banham, R.,
Ambiente e tecnica dell'architettura moderna, trad. it. di Giovanni Morabito, Laterza, Bari, 1978.
- Bartoli, B.,
Sostenibile dalla A alla Z – 250 schede per progettare ecologicamente, Esselibri – Simone, Napoli, 2008.
- Battisti, A.,
La qualità ambientale delle architetture di interno - Procedure e strumentazioni tecniche per la costruzione e gestione degli spazi a conformità ecologica Alinea, Firenze, 2005.

- Battisti, A., Tucci, F.,
Ambiente e cultura dell'abitare: innovazione tecnologica e sostenibilità del costruito nella sperimentazione del progetto ambientale, Dedalo, Bari, 2000.
- Benedetti, C.,
Manuale di architettura bioclimatica, Maggioli, Rimini, 1994.
- Bevitori, P., (a cura di)
Guida alla casa ecologica, Maggioli, Rimini, 2003.
- Bigazzi, D., Sala, M.,
Capitolato: materiali e tecnologico eco-compatibili, Alinea, Firenze, 1999.
- Bizzotto, M., Cinti, S., Longo D.,
Qualità del prodotto e qualità del processo: tendenze innovative finalizzate alla costruzione del progetto di architettura, XVI ciclo del Dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura – FAF Facoltà di Architettura di Ferrara, IUAV Istituto Universitario di Architettura di Venezia e Facoltà di Architettura di Cesena Ferrara, 2003.
- Boaga, G. (a cura di),
L'involucro architettonico - Progetto, degrado e recupero della qualità edilizia, Masson, Milano, 1994.
- Bottero, M.,
Progettare e costruire nella complessità. Lezioni di Bioarchitettura, Liguori, Napoli, 1993.
- Brunoro, S.,
Efficienza energetica delle facciate, Maggioli, Rimini, 2006.
- Butera, M. F.,
Dalla caverna alla casa ecologica: storia del comfort e dell'energia, Edizioni Ambiente, Milano, 2004.
- Cambi E., Di Cristina B., Steiner G.,
Tipologie residenziali a schiera, BE-MA, Milano, 1984.
- Cambi E., Di Sivo M., Steiner G.,
Tipologie residenziali in linea, BE-MA, Milano, 1984.
- Cambi E., Gobbi G., Steiner G.,
Tipologie residenziali a torre, BE-MA, Milano, 1981.
- Cammarata, G.,
Impianti termotecnici, Università degli Studi di Catania, Facoltà di Ingegneria, Catania, 2009.
- Campoli, A.,
Il contesto del progetto: il costruire contemporaneo tra sperimentalismo high-tech e diffusione delle tecnologie industriali, Milano, Franco Angeli, 1993.
- Cappello, F., Di Perna C.,
Legge 10 e certificazione energetica degli edifici, EPC, Roma, 2006.
- Ceccherini Nelli, L.,
Economia della sostenibilità, Alinea, Firenze, 2004.
- Ceccherini Nelli, L.,
Fotovoltaico in architettura, Alinea, Firenze, 2006.
- Cengel, Y. A.,
Termodinamica e trasmissione del calore, McGraw-Hill, Milano, 2005.
- Cetica, P. A.,
L'architettura dei muri intelligenti, Pontecorboli Editore, Firenze, 2004.
- Cinti, S.,
Facciate a doppia pelle in Italia Verifica di applicabilità dei sistemi vetro-vetro, tesi di Dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura, Università degli Studi di Ferrara Facoltà di Architettura, Istituto IUAV Facoltà di Architettura, Ferrara, 2004.
- Ciribini, G.,
Tecnologia e progetto, Celid, Torino 1984.
- Ciribini, G. (a cura di),
Tecnologie della costruzione, Nuova Italia scientifica, Roma, 1992.
- Cocchi, A.,
Elementi di termo fisica generale e applicata, Progetto Leonardo, Bologna, 1998.

- Colafranceschi D.,
Sull'involucro in Architettura - Herzog, Nuovel, Perrault, Piano, Prix, Suzuki, Venturi, Wines, Dedalo, Bari, 1999.
- Commissione Europea,
Energia per il Futuro: Fonti Rinnovabili di Energia – Libro Bianco per una strategia comune a piano di azione, Bruxelles, 1997.
- Commissione Europea,
Environment 2010: our future, our choice – The sixth EU Environment action programme 2001-2010, Bruxelles, 2001.
- Commissione Europea,
Libro Verde – Verso una strategia europea di sicurezza dell'approvvigionamento energetico, Lussemburgo, 2001.
- Crowther, R.L.,
Ecologic Architecture, Butterworth-Heinemann, Stoneham, USA, 1992.
- Curcio, S.,
Manutenzione dei patrimoni immobiliari: modelli, strumenti e servizi innovativi, Maggioli, Rimini, 1999.
- Daniels, K.,
Low Tech / Light Tech / High Tech. Building in the information age, Birkhaeuser, Basel, 2000.
- De Pascalis, S.,
Progettazione bioclimatica, Dario Flaccovio, Palermo, 2005.
- Di Battista, V., Giallocosta, G., Miniati, G. (a cura di),
Architettura e Approccio Sistemico, Polimetria, Monza, 2006.
- Di Giulio, R.,
Manuale di manutenzione edilizia, Maggioli, Rimini, 2003.
- Di Giulio, R.,
Qualità edilizia programmata. Strumenti e procedure per la gestione della qualità nel ciclo di vita utile degli edifici, Hoepli, Milano, 1991.
- ECOFYS,
Mitigation of CO₂ Emission from the Building Stock, Germany, 2003.
- Ellito, C.,
Techniques and Architecture, MIT Press, Cambridge Mass., 1992.
- ENEA, FIN.CO., Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio,
Libro bianco energia, ambiente, edificio: dati, criticità e strategie per l'efficienza energetica del sistema edificio, Il Sole 24 Ore, Milano, 2004.
- ENEA,
Rapporto Energia e Ambiente, 2001.
- E.R.T.A.G.,
Tecnica e pratica del recupero edilizio, Alinea, Firenze, 1982.
- Fattinanzi, E., Rosati P., Marfeda S.,
Progetti in edilizia residenziale. La riqualificazione urbana, DEI, Roma, 2000.
- Florensa, R. S., Coch Roura, H.,
L'energia nel progetto di architettura, CittàStudi, Milano, 1997.
- Foti, G.,
La costruibilità del progetto, Alinea, Firenze, 1999.
- Francese, D.,
La progettazione bioclimatica, UTET, Torino, 1996.
- Franchiri, A., Rigetti P.,
Tipologie residenziali contemporanee, BE-MA, Milano, 2000.
- Franco, G.,
L'involucro edilizio, EPC, Roma, 2003.
- Franco, G.,
Riqualificare l'edilizia contemporanea, Franco Angeli, Milano, 2003.
- Galliani, G. V. (a cura di),
Dizionario degli elementi costruttivi, UTET, Torino, 2001.
- Gallo, C.,
La qualità energetica e ambientale nell'architettura sostenibile, Il Sole 24 ore, Milano, 2000.

- Gambino, F.,
Costruire l'architettura. Materiali e tecnologie, Dario Flaccovio, Palermo , 2003.
- Gangemi, V. (a cura di),
Riciclare in architettura. Scenari innovativi della cultura del progetto, Clean, Napoli, 2004.
- Gauzin-Muller, D.,
Architettura sostenibile, Edizioni Ambiente, Milano, 2003.
- Gauzin-Muller, D.,
Case ecologiche, Edizioni Ambiente, Milano, 2006.
- Gelsomino, L., Ballandini, R., Cavalieri, G., Nicolini, A.,
Abitare il recupero. Trasformazione degli spazi interni e adeguamento tecnologico, Alinea, Firenze, 1990.
- GESCAL,
Norme tecniche di esecuzione delle costruzioni con speciale riferimento alla progettazione, Roma, 1964.
- Ginelli, E. (a cura di),
L'intervento sul costruito. Problemi e orientamenti, Franco Angeli, Milano, 2002.
- Grosso, M.,
Il raffrescamento passivo degli edifici. Concetti, precedenti architettonici, criteri progettuali, metodi di calcolo e casi di studio, Maggioli, Rimini, 1999.
- Grosso, M., Peretti, G., Piardi, S., Scudo, G.,
Progettazione ecocompatibile dell'architettura, Concetti e metodi, strumenti d'analisi e valutazione, esempi applicativi, Esselibri - Simone, Napoli, 2005.
- Herzog, T., Kripper, R., Lang, W.,
Atlante delle facciate, UTET, Torino, 2005.
- Heusler, W., Lieb, R.D., Lutz, M., Oesterle, E.,
Double – Skin Facades. Integrated Planning, Prestel, Munich, 2001.
- Imperadori, M.,
Le procedure Struttura/Rivestimento per l'edilizia sostenibile. Tecnologie dell'innovazione, Maggioli, Rimini, 1999.
- La Creta, R., Truppi C. (a cura di),
L'architetto tra tecnologia e progetto, Angeli, Milano, 1994.
- Lavagna, M.,
Sostenibilità e risparmio energetico, Libreria Clup, Milano, 2005.
- Lironi, S.,
Ecologia dell'abitare, GB, Padova, 1996.
- Lloyd, J. D.,
Atlante di bioarchitettura, UTET, Torino, 2002.
- Losasso, M.,
Architettura, Tecnologia e complessità, Clean, Napoli, 1991
- Mancini, E.,
Artefatti verso una nuova ecologia, DA, Milano, 1990.
- Manfron, V., Siviero, E. (a cura di),
Manutenzione delle costruzioni: progetto e gestione, UTET, Torino, 1998.
- Mangiarotti, A.,
Il progetto di Architettura. Dall'euristico all'esecutivo, Libreria Clup, Milano, 2000.
- Marino, F.P., Greco, M. T.,
La certificazione energetica degli edifici ed il D.L. 192 del 19/8/2005, EPC, Roma , 2006.
- Ministero dell'ambiente e Tutela Del Territorio, Ministero dell'economia e Finanze,
Piano Nazionale per la riduzione delle emissioni di gas responsabili dell'effetto serra: 2003-2010, Dicembre, 2002
- Molinari, C.,
Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia. La manutenzione come requisito di progetto, Esselibri - Simone, Napoli, 2002.
- Morabito, G.,
Forme e tecniche dell'architettura moderna, Officina, Roma, 1990.
- Mottura, G., Pennisi, A.,
Progettare sistemi di protezione solare degli edifici, Maggioli, Rimini, 2006.

- Nardi, G.,
Le nuovi radici antiche: saggio sulle questioni delle tecniche esecutive in architettura, Franco Angeli, Milano, 1988.
- Norberg-Shulz, C., Genius, Loci.
Paesaggio, ambiente, architettura, Electa, Milano, 1979.
- Novi, F.,
La riqualificazione sostenibile, Alinea, Firenze, 1999.
- Olgyay, V.,
Progettare con il clima - Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico
trad. it. di Giovanni Mancuso, Franco Muzzio, Padova, 1984.
- Palella, A.,
L'edificio ecologico, Gangemi, Roma, 2001.
- Pedrotti, L.,
La flessibilità tecnologica dei sistemi di facciata. Evoluzione delle tecniche di produzione e di assemblaggio, Angeli, Milano, 1995.
- Peretti, G. (a cura di),
Verso l'ecotecnologia in architettura, BE-MA, Milano, 1997.
- Pinto, M.R.,
Il riuso edilizio: procedure, metodi ed esperienze, UTET, Torino, 2004.
- Raiteri, R. (a cura di),
Trasformazioni dell'ambiente costruito: la diffusione sostenibile, Gangemi, Roma, 2003.
- Rava, P.,
Tecniche costruttive per l'efficienza energetica e la sostenibilità, Maggioli, Rimini, 2008.
- Reinberg, G.,
Le architetture di Georg W. Reinberg, Alinea, Firenze, 1998.
- Ronzoni, M. R. (a cura di),
E.O.S. consulting: progettare la sostenibilità, Alinea, Firenze, 2004.
- Rossetti, M.,
L'involucro come macchina energetica, Tesi di dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura, Università degli Studi di Roma La Sapienza, 2000.
- Sala M. (a cura di),
Recupero edilizio e bioclimatica, Esselibri - Simone, Napoli, 2001.
- Sala, M.,
Tecnologie bioclimatiche in Europa, Alinea, Firenze, 1994.
- Sasso, U.,
Bioarchitettura forma e formazione, Alinea, Firenze, 2003.
- Sasso, U.,
Dettagli per la bioclimatica, Alinea, Firenze, 2006.
- Scudo, G., Piardi, S.,
Edilizia sostenibile, Esselibri - Simone, Napoli, 2002.
- Sinopoli, N.,
Industrializzazione edilizia e politiche della casa: le esperienze straniere, Angeli, Milano, 1976.
- Sinopoli, N.,
La qualità dell'abitare, Collana NTR Emilia-Romagna, Angeli, Milano, 1981.
- Sinopoli, N.,
La tecnologia invisibile. Il processo di produzione dell'architettura e le sue regole, Milano, Franco Angeli, 1997.
- Sinopoli, N.,
Organismo abitativo e alloggio, Collana NTR Emilia-Romagna, Angeli, Milano, 1981.
- Sinopoli, N., Tatano, V.,
Sulle tracce dell'innovazione. Tra tecniche e architettura, Milano, Franco Angeli, 2002.
- Slessor, C.,
Eco-Tech. Sustainable Architecture and High Technology, Thames and Hudson, London, 1997.
- Szigeti, F., Davis, G.,

- Performance Based Building: Conceptual Framework*, CIBdf, The Netherlands, 2005.
- Torricelli, M. C., Del Nord, R., Felli, P.,
Materiali e tecnologie dell'architettura, Laterza, Bari, 2005.
- Torricelli, M.C., Lauria, A. (a cura di),
Innovazione tecnologica per l'architettura un diario a più voci, ETS, Pisa, 2004.
- Torricelli, M.C., Sala, M., Secchi, S.,
La luce del giorno - Tecnologie e strumenti per la progettazione, Alinea, Firenze, 1995 .
- Tucci, F.,
Involucro ben temperato. Efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici, Alinea, Firenze, 2006.
- Vale, B., Vale, R.,
Green Architecture, Thames and Hudson, London, 1991.
- Wienke, U.,
L'edificio passivo. Standard, requisiti, esempi, Alinea, Firenze, 2002.
- Wienke, U.,
Manuale di bioedilizia, Dei - Tip. Del Genio Civile, Roma, 2004.
- Zaffagnini, M.,
Edilizia residenziale, in manuale di progettazione edilizia. Fondamenti, strumenti, norme, vol. 1, Milano, Hoepli, 1995.
- Zaffagnini, M.,
Progettare nel processo edilizio, Bologna, L. Parma, 1981.
- Zanelli, A. (a cura di),
Ricerche di tecnologia dell'architettura, Libreria Clup, Milano, 2000.
- Zimbelli, P.,
L'involucro architettonico tra forma e tecnologia, Tesi di dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura e dell'Ambiente, Politecnico di Milano, 1994.

Articoli di riviste

- Baldinelli, G.,
"Double skin façades for warm climate regions: Analysis of a solution with an integrated movable shading system", *Building and Environment*, 44, 2009, pp. 1107-1118
- Ballestini, G., De Carli, M., Masiero, N., Tombola, G.,
"Possibilities and limitations of natural ventilation in restored industrial archaeology buildings with a double-skin façade in Mediterranean climates", *Building and Environment*, 40, 2005, pp. 983-995
- Balocco, C.,
"A simple model to study ventilated facades energy performance", *Energy and Buildings*, 34, 2002, pp. 469-475
- Balocco, C., Colombari, M.,
"Thermal behaviour of interactive mechanically ventilated double glazed facade: non dimensional analysis", *Energy and Buildings*, 38, 2006, pp. 1-7
- Brasca, M.,
"Hotel ciclabile", *Arketipo*, 27/Ottobre 2008, pp. 104-115
- Cattaneo, D.,
"Libri di argilla", *Arketipo*, 21/Marzo 2008, pp. 84-95
- Chou, S.K., Chua, K.J., Ho, J.C.,
"A study on the effects of double skin façades on the energy management in buildings", *Energy Conversion and Management*, 50, 2009, pp. 2275-2281
- Ciampi, M., Leccese, F., Tuoni, G.,
"Ventilated facades energy performance in summer cooling of buildings," *Solar Energy*, 75, 2003, pp.491-502
- Cuppini, D.,
"Uffici Amministrativi – Ditzingen, Germania", *The Plan*, 006 giugno 2004, pp. 36-49

- Dal Buono, V.,
"Centro direzionale a Treviso", *Costruire in laterizio*, 119 Settembre/Ottobre 2007, pp.20-23
- Delbene, G.,
"Public Private Ephemeral – Ceramics in Architecture", Barcellona, *Actar D*, 2008, pp. 33-37
- Formenti, E.,
"Impatto zero", *Arketipo*, 24/Giugno 2008, pp. 54-67
- Frontini, F.,
"Arte nel tunnel", *Arketipo*, 18/Novembre 2007, pp. 38-49.
- Gasparetto, F.,
"Dialogo con il sole", *Arketipo*, 5/luglio-agosto 2006, pp. 32-43
- Gasparetto, F.,
"Rame e vetro per il fronte del porto", *Arketipo*, 4/giugno 2006, pp. 40-53
- Gattoni, L. P.,
"Luce riflessa sulla dogana", *Arketipo*, 5/luglio-agosto 2006, pp. 56-65
- Gratia, E., De Herde, A.,
"Are energy consumptions decreased with the addition of a double-skin?", *Energy and Buildings*, 39, 2007, pp. 605-619
- Grecchi, M.,
"Centro marittimo Vellamo a Kotka", *Arketipo*, 34/Giugno 2009, pp. 76-87
- Grecchi, M.,
"La villa cambia pelle", *Arketipo*, 1/marzo 2006, pp. 50-63.
- Høseggen, R., Wachenfeldt, B.J., Hanssen, S.O.
"Building simulation as an assisting tool in decision making, Case study: With or without a double-skin facade?", *Energy and Buildings*, 40, 2008, pp. 821-827
- Ianaccone, G.,
"Lame di larice su Omotesando", *Arketipo*, 4/giugno 2006, pp. 55-61
- Imperadori, M., "
Schermi dinamici", *Arketipo, Sostenibilità costruita S2/2008*, pp. 38-41
- Lee, K. H., Strand, R. K.,
"Enhancement of natural ventilation in buildings using a thermal chimney", *Energy and Buildings*, 41, 2009, pp. 615-621
- Malighetti, L.,
"Black Treefrog a Bad Waltersdorf", *Arketipo*, 32/Aprile 2009, pp. 70-83
- Malighetti, L.,
"Muro di vetro", *Arketipo*, 29/Dicembre 2008, pp. 60-71
- Malighetti, L.,
"Una serra in facciata", *Arketipo*, 5/luglio-agosto 2006, pp. 66-77
- Malighetti, L.,
"Severità e dinamismo", *Arketipo*, 23/Maggio 2008, pp.104-117
- Marandola, M.,
"Stazione di pompaggio a Colonia", *Arketipo*, 34/Giugno 2009, pp. 88-97.
- Masera, G.,
"Fondazione Metropoli a Madrid", *Arketipo*, 33/Maggio 2009, pp. 68-79
- Masera, G.,
"Natura artificiale", *Arketipo*, 24/Giugno 2008, pp. 82-97
- Muscogiuri, M.,
"Médiathèque André Malraux", *Arketipo*, 40/Gennaio-Febbraio 2010, pp. 90-101
- Nezosi, D.,
"Sostenibilità costruita a secco", *Arketipo*, 3/maggio 2006, pp. 64-75
- Nolesini, F.,
"Edificio residenziale a Bergamo", *Arketipo*, 40/Gennaio-Febbraio 2010,
- Pagliari, F.,
"Acquario fluviale, Mora, Portogallo", *The Plan*, 022 novembre 2007, pp. 68-81
- Pagliari, F.,
"Frener & Reifer Headquarters", *The Plan*, 032 gennaio 2009, pp. 12-18
- Pagliari, F.,
"Gardiner Musuem, Toronto, Canada", *The Plan*, 025 aprile 2008, pp. 68-81
- Pagliari, F.,
"Istituto scolastico, Galisteo, Spagna", *The Plan*, 022 novembre 2007, pp. 82-95

- Pagliari, F.,
"Orestad College, Copenhagen, Danimarca", *The Plan*, 022 novembre 2007, pp. 82-95
- Pagliari, F.,
"Sede del Dipartimento dei Trasporti Caltrans District 7 Headquarters", *The Plan*, 016, settembre-ottobre-novembre 2006, pp. 34-53
- Pedrotti, L.,
"Kraanspoor ad Amsterdam", *Arketipo*, 34/Giugno 2009, pp. 54-65
- Poli, T.,
"Performance tessili", *Arketipo*, *Sostenibilità costruita* S2/2008, pp. 46-49
- Ruta, M.,
"John Lewis Centre a Leicester", *Arketipo*, 31/Marzo 2009, pp. 72-85
- Schittich, C.,
"Casa di abitazione a Leffe", *Detail*, *Involucri edilizi* pp. 84-85
- Scott, F.,
"Salt Point House, New York, USA", *The Plan*, 025 aprile 2008, pp. 56-67
- Vivian, A.,
"Tribunale civile a Manchester", *Arketipo*, 33/Maggio 2009, pp. 81-91
- Zanelli, A.,
"Membrane e scocche", *Arketipo*, 27/Ottobre 2008, pp. 58-69
- Zambelli, M.,
"Icon House", *Arketipo*, 36/Settembre 2009, pp. 69-67

Sitografia

- | | |
|--|--|
| www.actis-isolation.com | www.hascherjehle.de |
| www.appuntidigitali.it | www.ibosvitart.com |
| www.arcaedizioni.it | www.icoslarco.it |
| www.archea.it | www.Kaspar-Kraemer.info |
| www.archinfo.it | www.kkaa.co.jp |
| www.architectour.net | www.kpmbarchitects.com |
| www.ark-l-m.fi | www.laminam.it |
| www.arturomontanelli.com | www.luispaillard.com |
| www.athens9.net | www.morales-giles-mariscal.com |
| www.barkowleibinger.com | www.morphosis.com |
| www.baubuero.com | www.ostinelli.ch |
| www.bbkult.net | www.oth.nl |
| www.brt.de | www.picharchitects.com |
| www.costacurta.it | www.promontorio.net |
| www.cube-hotels.com | www.rafael.moneo.com |
| www.dentoncorkermarshall.com | www.rau.nl |
| www.designic.com | www.reinberg.net |
| www.designrepublic.it | www.resstende.com |
| www.ecoedility.it | www.richardrogers.co.uk |
| www.enea.it | www.solardecathlon.org |
| www.f-a-r-.net | www.splitterwerk.at |
| www.fabriziofontana.net | www.stoermer-architekten.de |
| www.f-o-a-.net | www.studioingegneriabonato.com |
| www.fosterandpartners.com | www.tphifer.com |
| www.fujy.org | www.trespa.com |
| www.fuksas.it | www.uniroma1.it |
| www.fundacion-metropoli.org | www.vanoncini.it |
| www.grcsistem.com | |

Fonte delle immagini

Capitolo 1

Figura 1.1 Rolf Disch Solar Architekturi

Figura 1.2 Gratia, Belgio, 2007

Figura 1.3 www.actis-isolation.com

Figura 1.4 www.icoslarco.it

Figura 1.5 Simona Cinti

Figura 1.6 www.fosterandpartners.com

Figura 1.7 www.architectour.net

Figura 1.8 Simona Cinti

Figura 1.9 Arketipo, 34/giugno 2009

Capitolo 2

Figura 2.1 Brunoro, S., *Efficienza energetica delle facciate*, Maggioli, Rimini, 2006

Figura 2.2 Giulia Archetti

Figura 2.3 Brunoro, S., *Efficienza energetica delle facciate*, Maggioli, Rimini, 2006

Figura 2.4 Brunoro, S., *Efficienza energetica delle facciate*, Maggioli, Rimini, 2006

Figura 2.5 Giulia Archetti

Capitolo 3

Figura 3.1 www.uniroma1.it

Figura 3.2 Rolf Disch Solar Architekturi

Figura 3.3 D.P.R. 412 del 26 agosto 1993

Figura 3.4 Giulia Archetti

Figura 3.5 Giulia Archetti

Figura 3.6 Faragò, F., (a cura di) *Manuale pratico di edilizia sostenibile*, Esselibri – Simone, Napoli, 2008

Figura 3.7 www.appuntidigitali.it

Figura 3.11 Cammarata, G., *Impianti termotecnici*, vol. I, Università degli Studi di Catania, Facoltà di Ingegneria, Catania, 2009

Figura 3.12 Cammarata, G., *Impianti termotecnici*, vol. I, Università degli Studi di Catania, Facoltà di Ingegneria, Catania, 2009

Figura 3.13 Cammarata, G., *Impianti termotecnici*, vol. I, Università degli Studi di Catania, Facoltà di Ingegneria, Catania, 2009

Figura 3.14 Schittich, C., (a cura di) *Involuri edilizi*, Detail, Monaco di Baviera, 2003

Figura 3.15 Enrico Cano

Figura 3.16 Rolf Disch Solar Architekturi

Figura 3.17 Enrico Cano

Figura 3.18 Frank Kaltenbach

Capitolo 4

Figura 4.1 Giulia Archetti

Figura 4.2 www.trespa.com

Figura 4.3 Giulia Archetti

Figura 4.4 Enrico Cano

Figura 4.5 Frank Kaltenbach

Figura 4.6 Simona Cinti

Figura 4.7 Ruta, M., "John Lewis Centre a Leicester", *Arketipo*, 31/Marzo 2009

Figura 4.8 Enrico Cano

Figura 4.9 Antonello Fortini

Figura 4.10 www.morphosis.com

Figura 4.11 Simona Cinti

Figura 4.12 Simona Cinti

Figura 4.12 Simona Cinti

Figura 4.14 Gattoni, L. P., "Luce riflessa sulla dogana", *Arketipo*, 5/luglio-agosto 2006

Figura 4.15 Frank Kaltenbach

Figura 4.16 Antonello Fortini

Figura 4.17 Christian Schittich

Figura 4.18 www.stoermer-architekten.de

Figura 4.19 Rolf Disch Solar Architekturi

Figura 4.20 www.archea.it

Figura 4.21 www.cube-hotels.com

Figura 4.22 Cengel, Y., *Termodinamica e trasmissione del calore*, Mc Graw-Hill, Milano, 2002

Figura 4.23 Cengel, Y., *Termodinamica e trasmissione del calore*, Mc Graw-Hill, Milano, 2002

Figura 4.24 Cengel, Y., *Termodinamica e trasmissione del calore*, Mc Graw-Hill, Milano, 2002

Figura 4.25 Cocchi, A., *Elementi di termo fisica generale e applicata*, Progetto Leonardo, Bologna, 1998

Figura 4.26 Elliot Kaufman

Figura 4.27 www.enea.it

Figura 4.28 Cammarata G., *Impianti termotecnici – Volume I*, Università degli Studi di Catania, Catania, 2009

Capitolo 5

Figura 5.1 www.vanoncini.it

Figura 5.2 CasaClima

Figura 5.3 www.costacurta.it

Figura 5.4 www.resstende.com

Figura 5.5 Giulia Archetti

Figura 5.6 www.ecoedility.it

Figura 5.7 Lilli System spa

Figura 5.8 Lilli System spa

Figura 5.9 Giulia Archetti

Figura 5.10 www.costacurta.it

Figura 5.11 Poli, T., "Performance tessili", *Arketipo*, supplemento Sostenibilità costruita S2/2008

Figura 5.12 www.actis.it

Figura 5.13 www.laminam.it

Figura 5.14 Giuseppe Camillo Santangelo

Figura 5.15 www.grcsistem.com

Capitolo 6

Figura 6.1 Chou, Cina, 2009

Figura 6.2 Lee, USA, 2009

Figura 6.3 Gratia, Belgio, 2007

Figura 6.4 Gratia, Belgio, 2007

Figura 6.5 Balocco, Firenze, 2006

Figura 6.6 Manz, Svizzera, 2005

Figura 6.7 Baldinelli, Perugia, 2009

Figura 6.8 Baldinelli, Perugia, 2009

Figura 6.9 Baldinelli, Perugia, 2009

Figura 6.10 Ballestini, Padova, 2004

Figura 6.11 Ballestini, Padova, 2004

Figura 6.12 Balocco, Firenze, 2001

Grafico 6.1 Cinti, Ferrara, 2004

Grafico 6.2 Cinti, Ferrara, 2004

Grafico 6.3 Cinti, Ferrara, 2004

Grafico 6.4 Cinti, Ferrara, 2004

Grafico 6.5 Cinti, Ferrara, 2004

Grafico 6.6 Cinti, Ferrara, 2004

Grafico 6.7 Cinti, Ferrara, 2004

Grafico 6.8 Cinti, Ferrara, 2004

